

MAKINA ELEKTRIKO BIRAKARIAK: SIMULAZIOAK ETA PROBAK

MIREN TERESE BEDIAUNETA

UNIBERTSITATEKO ESKULIBURUAK
MANUALES UNIVERSITARIOS



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

Makina elektriko birakariak: simulazioak eta probak

Miren Terese Bedialauneta

eman ta zabal zazu



Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea

CIP. Unibertsitateko Biblioteka

Bedialauneta, Miren Terese

Makina elektriko birakariak [Recurso electrónico]: simulazioak eta probak / Miren Terese Bedialauneta. – Datos. – Bilbao : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, [2017]. – 1 recurso en línea : PDF (108 p.).

Modo de acceso: World Wide Web

ISBN: 978-84-9082-508-2.

1. Máquinas eléctricas. 2. Máquinas eléctricas – Simulación, Métodos de.

(0.034)621.313

Euskararen arloko errektoreordetzaren sare argitalpena

Lan honek UPV/EHUko Euskararen Arloko Errektoreordetzaren laguntza jaso du

© Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua

ISBN: 978-84-9082-508-2

Aurkibidea

1. Simulazio-softwarea	5
1.1. Matlab-ek erabiltzen dituen datu motak	7
1.2. Simulink	8
1.2.1. Simulink: definizioa eta ezaugarriak	8
1.2.2. Simulink Library Brower (SLB)	10
1.2.3. Simulink erabiliz bloke-diagramak eraiki	11
1.2.4. SIMULINK: ereduaren eta simulazioaren parametrizazioa	12
1.2.5. Ereduetan oharrak gehitu	15
1.2.6. Seinaleak etiketatu	16
1.2.7. Azpistemak	16
1.2.8. Maskarak	16
1.3. Erabiltzailearen interfaze grafikoa	20
1.3.1. GUI eta Matlab	20
1.3.2. Matlab erabiliz GUI-ak sortu	22
1.3.3. GUIDE erabiliz GUI sortu. Pausoak	22
1.3.4. GUIDE aplikazio baten fitxategiak	22
1.3.5. GUIDE aplikazioa. Programazioa	23
2. Simscape Power Systems	26
3. Makina asinkronoa	29
3.1. Deskribapena	29
3.2. Indukzio-makina trifasiko baten funtzionamenduaren printzipioa	31
3.3. Motor asinkrono trifasikoak	33
3.3.1. Deskribapena	33
3.3.2. Motor asinkronoaren eredia	35
3.4. Simulink blokea	50
3.4.1. Parametroak	50
3.4.2. Blokearen deskribapena	51
3.4.3. Blokearen sarrerak eta irteerak	58
3.4.4. Oharra	60

4. Makina sinkronoa	61
4.1. Deskribapena	61
4.2. Alternadorea	61
4.2.1. Deskribapena	61
4.2.2. Alternadorearen eredu	63
4.3. Simulink blokea	63
4.3.1. Synchronous Machine blokearen deskribapena	64
4.3.2. Blokearen sarrerek eta irteerak	73
4.3.3. Oharra	74
4.3.4. Simplified Synchronous Machine blokearen deskribapena	75
4.3.5. Blokearen sarrerek eta irteerak	80
5. Korronte zuzeneko makina	82
5.1. Deskribapena	82
5.2. Simulink blokea	83
6. Electric Drives bibliotekako blokeak	93
6.1. Electric Drive baten hiru osagai nagusiak	94
6.2. DC Motor Drive simulazioa	95
6.3. AC Motor Drive simulazioa	105

1.

Simulazio-softwarea

Makina elektriko birakarien simulazioak egiteko, MATLAB programa erabiliko dugu, eta horrekin batera Simulink plataforma.

MATLAB da MathWorks enpresaren produktu nagusia, zenbaki-konputaziorako nahiz datuen analisi eta bistaratzerako erabiltzen dena. MatLab-en gehigarri moduan Simulink eskaintzen du. Simulink ingurune grafiko interaktibo bat da, eta aukera ematen du sistema ez-linealak ikeritzeko, modelatzeko eta haien dinamika simulatzeko.

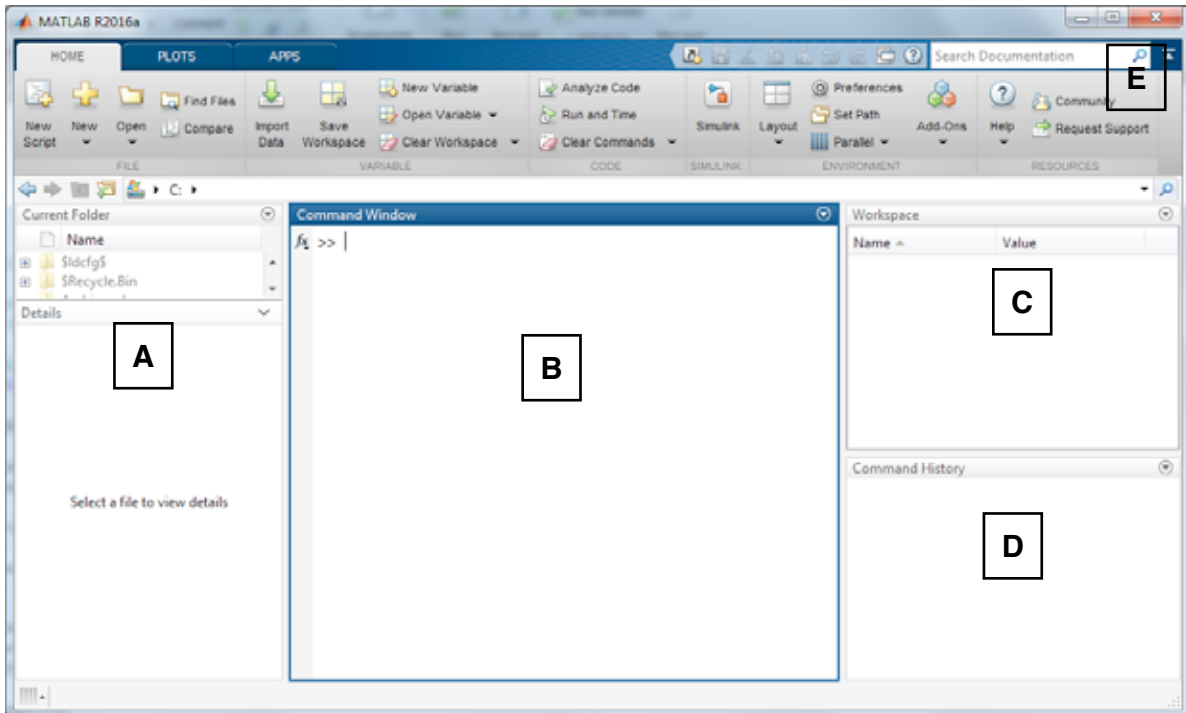
MATLAB hainbat aplikaziotan erabiltzen ahal da, irudi eta seinaleen prozesamenduan, kontrol-sistemen diseinuan, komunikazioetan, proba- eta neurketa-sistemetan, eta abarretan.

MATLABen ezaugarri orokorretariko batzuk hauek dira:

- Kalkulu teknikoetarako goi-mailako lengoaia.
- Fitxategi, datu eta kodeen kudeaketarako garapen-ingurunea.
- Ariketa iteratiboen ebazpenerako tresna iteratiboak.
- Estatistikarako, Fourier analisirako eta bestetarako funtzio matematikoak.
- Datuak ikusteko bi eta hiru dimentsioko funtzio grafikoak.
- Erabiltzailearentzako interfaze grafiko pertsonalizatuak sortzeko tresnak.

Matlab abiarazten denean, 1. irudikoa bezalako leiho bat agertuko da. Leihoa atalka banatzen da:

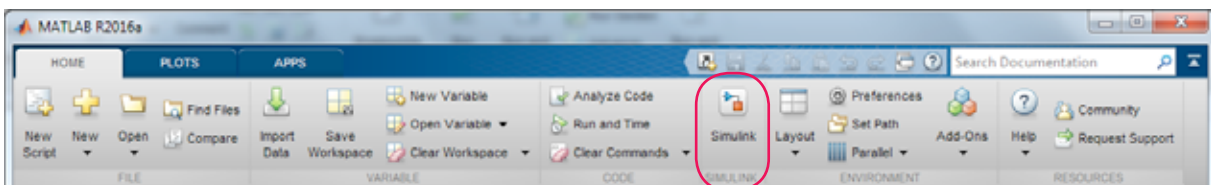
- A:** Current folder: fitxategietara sartzeko
- B:** Command Window: komando-lerroak idazteko
- C:** Workspace: fitxategien bitartez sorturiko edo inportaturiko datuak arakatzeko
- D:** Command History: aldezturik komando-lerroen bitartez sarturiko komandoak ikusteko edo exekutatzeko
- E:** ataza-barra



1.1. IRUDIA
Matlab-eko leihoa

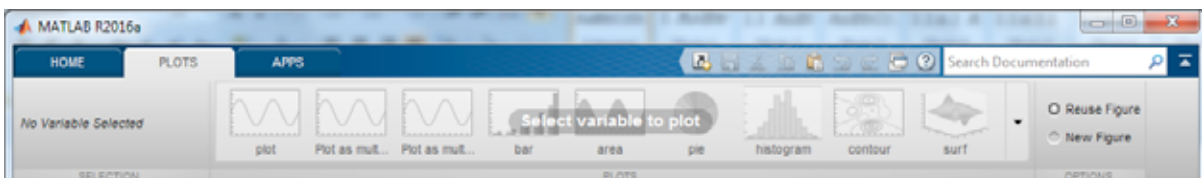
1.1. irudian ageri den ataza-barran (E) zenbait aukera daude:

HOME: ataza orokorrak gauzatzeko (1.2. irudia). Fitxategi berriak sortu, datuak inportatu, workspace kudeatu eta mahaigaineko diseinua konfiguratu, besteak beste. Atal honetan, Simulink deituriko ikonoa agertzen da. Ikono horren bitartez, aurrerago azalduko dugunez, Simulink atala abiarazten da.



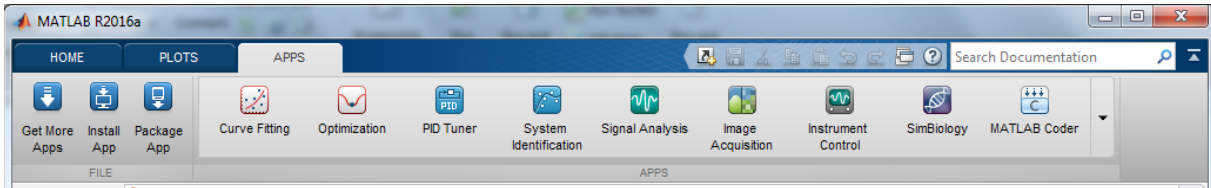
1.2. IRUDIA
HOME atala

PLOTS: grafiko-aukeren galeria (1.3. irudia). Irudikatu nahi diren aldagaiak workspace-n hautatzen dira.



1.3. IRUDIA
PLOTS atala

APPS: Matlab-en aplikazio interaktiboak exekutatzeko diren atala (1.4. irudia).



1.4. IRUDIA
APPS atala

Atal hauek ez dira beti azaltzen, Matlab-en eragiketa zehatzak egin ondoren baizik. Hau da, beharrezko direnean.

EDITOR: fitxategiak editatzeko.

PUBLISH: Matlab-en dokumentuak sortzeko

VIEW: editoreko fitxategien diseinu eta itxura kontrolatzeko.

1.1. MATLAB-EK ERABILTZEN DITUEN DATU MOTAK

Matlab-ek zenbait datu mota ditu.

— Zenbakizkoak

- Osoa (int8, uint8, int16, uint16, int32, uint32, int64, uint64): → zeinuarekin edo gabe 8, 16, 32 edo 64 bit
- Doitasun sinpleko higikorra (single): 32 bit
- Doitasun bikoitzeko higikorra (double): 64 bit. → eragiketa matematikoetan erabiltzen den bakarra

— Logikoa (logical): 8 bit

- 0 edo 1 balioa. Eragiketa logikoen emaitza

— Karakterea (char): 16 bit

- Karaktere bat biltegitzeko erabiltzen da

— Gelaxkak (Cell)

— Structure

— Function handle

Esate baterako, karaktere-kateak erabiltzean funtziorik garrantzitsuenak hauek dira:

— double(c): karaktere bakoitza ASCII zenbaki bihurtzen du.

— char(v): v zenbakidun bektorea karaktere-kate bihurtzen du.

— char(c1,c2): karaktere-matrizea sortzen du, kate laburrenak hutsuneekin osatuz.

— •deblank(c): karaktere baten amaieratik hutsuneak ezabatzen ditu.

- disp(c): c aldagaiko testua inprimatzen du.
- ischar(c): aldagai bat karaktere-katea den detektatzen du.
- isletter(): karakterea alfabetoko letra bat den detektatzen du. Karaktereen bektore edo matrizea sartzen bazaio, zero eta bateko matrize edo bektorea bueltatzen du.
- isspace(): karaktere bat hutsunea den detektatzen du. Karaktereen bektore edo matrizea sartzen bazaio, zero eta bateko matrize edo bektorea bueltatzen du.
- strcmp(c1,c2) kateen-konparaketa. Berdinak badira “1” bueltatzen du, eta, bestela, “0”.
- strcmpi(c1,c2): strcmp(c1,c2)-ren berdina, baina letra larri eta xeheak bereizi barik.
- strncmp(c1,c2,n): kate biren n-garren lehenengo karaktereak konparatzen ditu karakterez karaktere. Zero eta bateko matrize edo bektorea bueltatzen du.
- strcmp(cc,c): cc karaktere matrizearen c katearekin hasten diren elementu guztien indizeak bueltatzen ditu.
- strcmp(c1,c2,c3): c2 c1-en aurkitzen duen bakoitzean, c2 katea c3-rekin ordezkatzeko du.
- [p,r]=strtok(t): karaktere-kate baten hitzak banatzen ditu. P lehenengo hitza eta r katearen gainerakoa bueltatzen ditu.
- int2str(v): zenbaki oso bat karaktere-kate bihurtzen du.
- num2str(x,n): x zenbaki erreal bat karaktere-kate bihurtzen du, lau zifra dezimaleraino.
- str2double(str): zenbaki erreal bat adierazten duen karaktere-kate bat dagokion zenbaki erreala bihurtzen du.
- vc=cellstr(cc) cc karaktere-matrize bat vc gelaxka-bektore bihurtzen du kate bakoitzeko hutsune gehigarriak ezabatuz.
- sprintf: zenbaki-balioak karaktere-kate bihurtzen ditu, C hizkuntzaren arau eta formatoekin bat.

1.2. SIMULINK

1.2.1. Simulink: definizioa eta ezaugarriak

Simulink simulaziorako tresna bat da. Ingurune grafiko interaktiboa eskaintzen du hainbat sistema diseinatzeko, simulatzeko eta probatzeko, biblioteka talde batekin batera.

Simulink MatLab-en gehigarri bat da. Simulink erabiltzen ari garen bitartean, MatLab ingurunea erabiltzeko moduan egongo da.

Simulink plataformaren funtzio nagusietako batzuk hauek dira:

- Aurretik zehaztu eta handitu daitezkeen bibliotekak.
- Diagrama-blokeak kudeatzeko eta muntatzeko editore grafiko interaktiboa.
- Diseinu osoak kudeatzeko ahalmena, modeloak diseinu-osagaien hierarkien arabera zatituz.
- Hainbat simulazio modu.
- Beste simulazio-programa batzuekin konektatzeko moduko interfaze grafikoa.
- Araztaile grafiko simulazioaren emaitzak aztertzeko.
- MATLABekiko lotura, emaitzak ikusteko, aztertzeko, seinale eta parametroak definitzeko, eta abar.

Simulink, eredueta oinarrituriko diagrama- eta bloke-ingurune bat da. Zenbait sistema simulatzea eta aztertzea ahalbidetzen du.

Simulink ingurune bat da, baliabide hauek eskaintzen dituena: sistema dinamikoen ereduak egiteko eta simulatzeko editore grafiko bat, egokitu daitezkeen blokeen biblioteka bat eta solver taldea. Domeinu anitzeko bloke-diagramen ingurunean oinarritzen da. Simulinkek murgilduriko sistemen proba eta egiaztapen jarraitua, kode-sortze automatikoa, sistema-mailako simulazioa eta diseinua ahalbidetzen ditu.

Sistema dinamikoak simula daitezke Simulink erabiliz. Kasu gehienetan, prozesu linealak edo denboraren mendeko prozesu ez-linealak izaten dira, ekuazio diferentzialak erabiliz deskriba daitezkeenak. Sistema dinamikoak deskribatzeko beste sistema bat bloke-diagrama da. Bloke-diagramekin sistemaren portaera adierazten da.

Simulink erabiliz zenbait ataza egiten dira, eta zenbait atal eskaintzen ditu.

a. *Gertakizunetan oinarrituriko ereduak egitea*

Stateflow: egoera-makinak diseinatu eta simulatzen ditu.

SimEvents: gertakizun diskretuen ereduak egin eta simulatzen ditu.

b. *Eredu Fisikoak*

Simscape: zenbait eremutako sistema fisikoen ereduak egin eta simulatzen ditu.

SimMechanics: sistema mekanikoen ereduak egin eta simulatzeko.

SimDriveline: dimentsio bakarreko sistema mekanikoen ereduak egin eta simulatzeko.

SimHydraulics: sistema hidraulikoen ereduak egin eta simulatzeko.

SimRF (Radio Frequency): RF sistemak diseinatu eta simulatzeko.

SimElectronics: sistema elektronikoen eta mekatronikoen ereduak egin eta simulatzeko.

SimPowerSystems: potentzia elektrikoko sistemen ereduak egin eta simulatzeko.

c. *Prototipoak eta Simulazioa HIL (Hardware-in-the-loop) azkarra*

xPC Target: Hardware-in-the-loop simulazioak egiten ditu denbora errealeko prototipo azkarretan.

xPC Target Embedded Option: xPC Target aplikazioak exekutatzeko helburu diren konputagailu independenteetan.

Real-Time Windows Target: Microsoft Windows duten konputagailuetan Simulink ereduak exekutatzeko.

d. *Egiaztapena, baliozkotzea eta proba*

Simulink Verification and Validation: ereduak egiaztatze eta kodea sortzeko.

Simulink Design Verifier: diseinu-erroreak identifikatzeko, test-bektoreak sortzeko, eta eskaeren mendeko diseinuak egiaztatze.

SystemTest: sistemak egiaztatzearen eta baliozkotzearen emaitzak aztertzeko, eta probak kudeatzeko.

HDL Verifier: VHDL egiaztatu. VHDL IEEE-k (Institute of Electrical and Electronics Engineers) definituriko programazio-lengoaia bat da. Ingeniari eta zientzilariek zirkuitu digitalak deskribatzeko edo fenomeno zientifikoen ereduak egiteko erabilia.

Simulink Code Inspector: iturburu-kodearen berrikuspen automatizatuak segurtasun-arauentzat.

Polyspace Client for C/C++: iturburu-kodean akatsik ez dagoela egiaztatzeko denbora errealean.

Polyspace Server for C/C++: ordenagailu-klusterretan kodea egiaztatzeko eta metrikak publikatzeko.

Polyspace Client for Ada: iturburu-kodean akatsik ez dagoela egiaztatzeko exekuzio-denboran.

Polyspace Model Link SL: Simulink ereduentzako Polyspace emaitzak ematen ditu.

Polyspace Model Link TL: dSPACE TargetLink blokeentzako Polyspace emaitzak ematen ditu.

Polyspace UML Link RH: IBM Rational Rhapsody ereduentzako Polyspace emaitzak ematen ditu.

DO Qualification Kit: DO-178-rentzako eta DO-278-rentzako Simulink eta Polyspace baliozkotze-tresnak.

IEC Certification Kit: ISO 26262 eta IEC 61508 ziurtagirientzako kode-sormena eta tresnen baliozkotzea.

e. *Grafikoak eta simulazio emaitzen garapena*

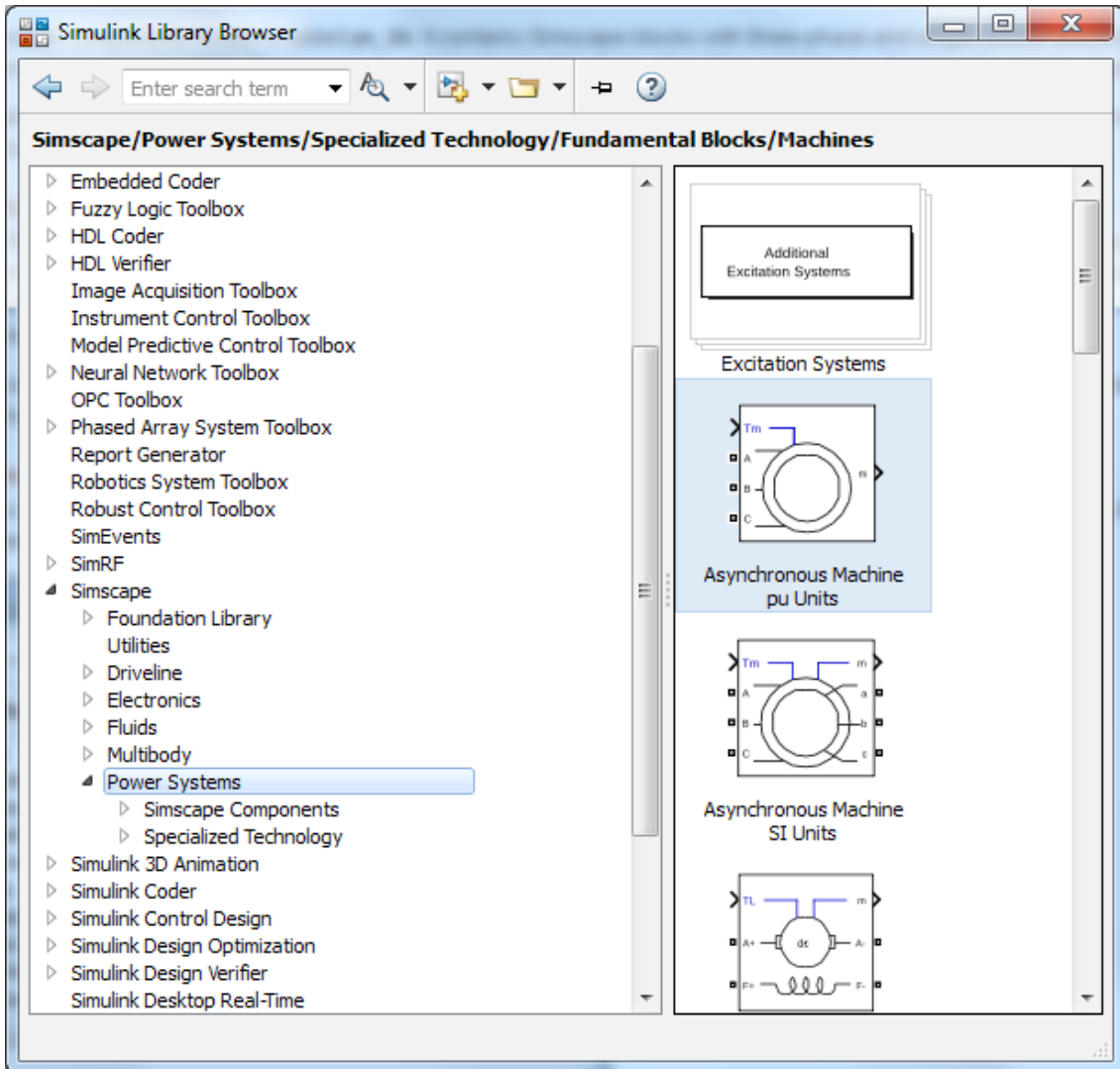
Simulink 3D Animation: hiru dimentsiotan ereduak animatzeko eta ikusteko

Gauges Blockset: gailu grafikoekin monitorizazio-seinaleak egiteko.

Simulink Report Generator: Stateflow-entzako eta Simulink-entzako dokumentuak sortzeko.

1.2.2. Simulink Library Brower (SLB)

Eskuragarri dauden blokeen atala. Bloke hauek talde funtzionaletan antolaturik agertzen dira, eta talde bakoitzak azpitaldeak eduki ditzake. 1.5. irudian, SLBren itxura ageri da.



1.5. IRUDIA

Simulink Library Browser

Simulink-ek erabilera-fase bi ditu: ereduaren definizioa eta ereduaren analisia. Ereduaren definizioa aurrez definituriko oinarritzko elementu batzuetatik abiatuz erdua eraikitzean datza. Ereduaren analisia simulazioa egitea da.

1.2.3. Simulink erabiliz bloke-diagramak eraiki

Simulazio-sistema eraikitzeke biblioteka erabiliz, lehenengo leiho berri bat ireki behar da, SLBko File/New aukera erabiliz.

Aurretik eginda dauden ereduak (bloke-diagramak) zabaltzeko: File/open.

Lantzen ari den leihoa gordetzea komenigarria da, File/Save As aukera erabiliz. Gordetzen den fitxategiaren luzapena mdl (mdl=model) izaten da.

1.2.4. SIMULINK: ereduen eta simulazioaren parametrizazioa

Simulink plataformarekin sistemaren bloke-diagrama sortu, modelatu eta mantentzen ahal da, aurrez definituriko bloke talde zabal bat erabiliz.

Simulink plataformak modelo hierarkikoak egiteko, datuak kudeatzeko eta azpisistemak egokitzeko tresnak dauzkan aldetik, erraztasun osoa eskaintzen du sistema konplexuak irudikatzeko.

Simulink softwareak sistema baten eredia egitean erabiltzen diren hainbat funtzioaren biblioteka dauka. Funtzio hauek:

Bloke jarraitu dinamiko eta diskretuak

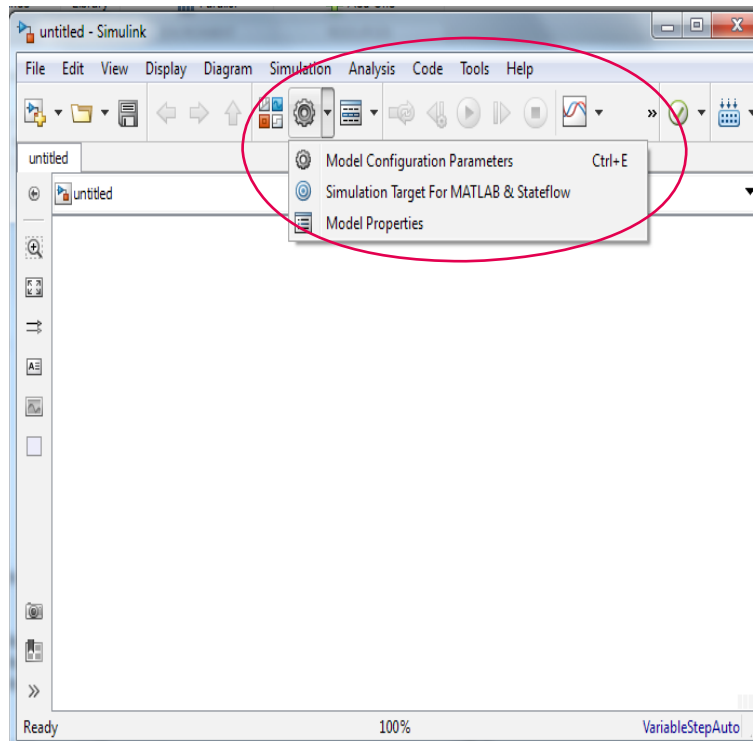
Algoritmoen blokeak

Estruktura-blokeak: MUX, etengailua eta bus-hautatzailea

Blokeak neurrira egiten ahal dira, edo zuzenean Simulink-en bloke berriak sortu eta erabiltzailearen bibliotekan sartu.

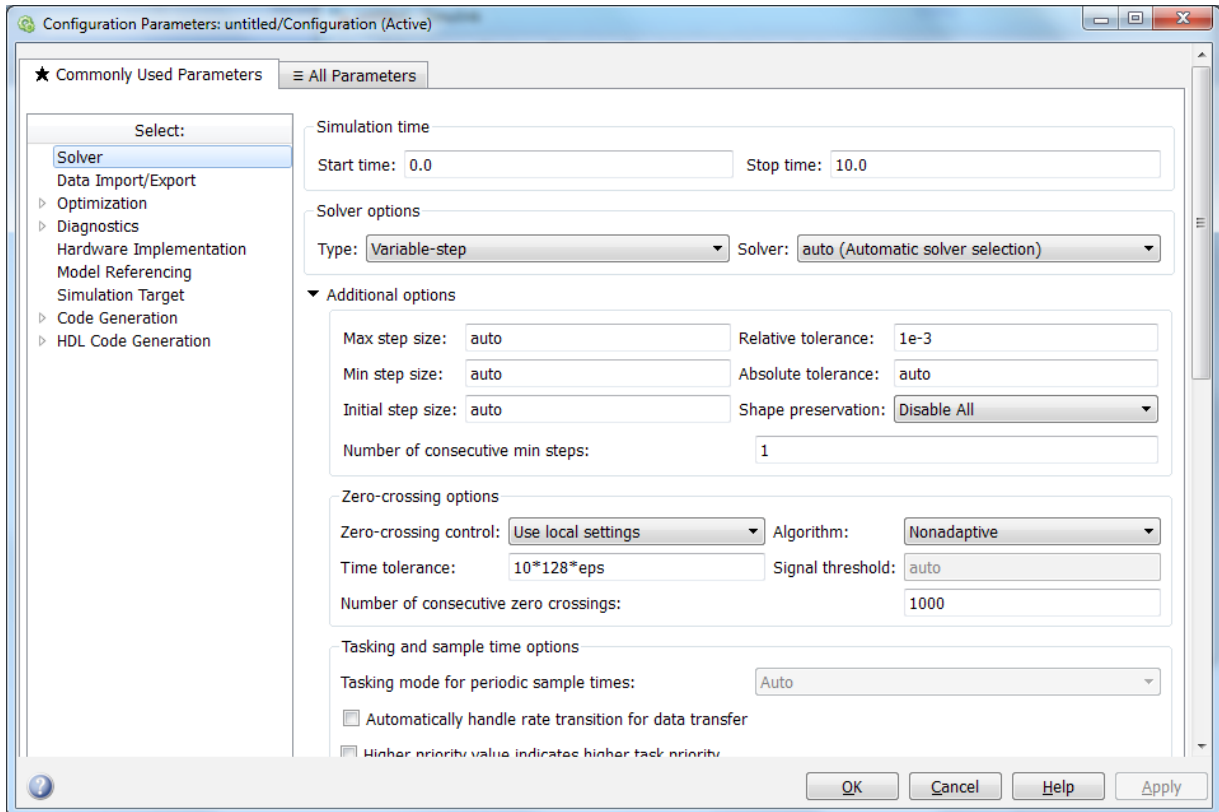
Simulazioaren parametrizazioa egiteko 1.6 eta 1.7 irudietako leihoak erabiliko dira. 1.6 irudian, simulazioko parametroen leihoa zabaltzeko loturak dituzue. 1.7 irudian, simulazioko parametroen konfiguraziorako leihoa.

Ereduen parametrizazioari dagokionez, simulazioa gauzatzeko bloke bakoitzari dagokion parametrizazioa egin beharko da. Simulink-en bibliotekako elementu bakoitzak bere parametrizazioa du. Kasu bakoitzean aztertu behar litzateke.



1.6. IRUDIA

Simulazioko parametroen konfigurazioa abiatzeko



1.7. IRUDIA

Simulazioko parametroen konfigurazioa

Solver

Solver elkarrizketa-koadroak parametro hauek doitzeko modua ematen du: simulazio-denbora, integrazio-metodoa, pauso minimo eta maximoen tamaina, errore-marjinak (tolerantzia erlatibo eta absolutuak)...

— *Simulazio-denbora*

Star time eta **Stop time** parametroek simulazioaren hasierako eta amaierako denbora zehazten dute. Hasierako denbora-balioa 0 segundotan dago aurrez ezarrita, eta amaierakoa 10 segundotan. Ohikoena hasierako denbora dagoen moduan mantentzea da, eta amaierakoa edozein baliotan ezar daiteke edo denbora infinitua adierazten duen *inf* balioan. Azken balioa infinituan ipintzen bada, simulazioa ez da geldituko, baina **pause** edo **stop** ikono edo aginduekin gelditu ahalko da.

Kontuan izan behar da simulazioaren denbora eta ordenagailuak simulazio hori egiteko behar duen denbora ez direla denbora berdinak. Simulazioa egiteko beharrezko denbora ereduaren konplexutasunaren, integrazio-pausoaren tamainaren, integrazio-metodoaren edo/eta ordenagailuaren araberakoa izango da.

— *Solver options*

Atal honetan, integrazio-metodoa zehazten da. Integrazio-metodoa SIMULINKEk ereduaren ekuazio diferentzialak ebazteko erabiltzen duen metodo matematikoa da. Sistema

dinamikoen portaera ezberdinak direla eta, kasu bakoitzean metodo batzuek, zehaztasunaren eta abiaduraren aldetik, erantzun hobea ematen dute.

Simulink-ek, simulazio-pausoaren arabera (modeloaren ekuazioen ebazpen-algoritmoen integrazio-tartea) ebazpen-metodo talde bi eskaintzen ditu:

Variable-step: pauso aldakorra. Simulazioan zehar pausoaren tamaina automatikoki aldatzen dute; errore-kontrola eta *zerotik igaroko* kontrola dauzkate.

Fixed-step: simulazio osoan zehar pausoaren tamaina mantentzen dute, eta ez daukate errore-kontrolik edo *zerotik igaroko* kontrolik.

Variable-step edo pauso aldakorreko metodoak (Solver)

ode45: Simulink-ek, ereduaren denboran jarraitua dela detektatzen badu, metodo hau erabiltzen du. Runge-Kutta-ren metodoan oinarritzen da. Pauso bakarreko metodoa da; hau da, puntu bat kalkulatzeko aurretik kalkulaturiko puntuan oinarritzen da. Metodo honek eredu jarraituen kasuan emaitza onargarriak ematen ditu, eta erabilgarria da hasierako hurbilpen moduan, aztertu beharreko ereduaren ondoren ondo ezagutzen.

ode23: Runge-Kutta-ren metodoan oinarritzen den pauso bakarreko metodoa da. Metodo hau errore-tolerantziaren eskakizuna txikiagoa denean edo sistema leunen (dinamika geldo eta azkarrak dituztenak) aurrean, ode45 metodoa baino efizienteagoa da.

ode113: Adams-Bashforth-Moulton-en maila aldakorreko pauso anitzeko metodoa da. Errore-tolerantziak oso zorrotzak direnean, ode45 metodoa baino efizienteagoa da.

ode15s: zenbakizko deribazioko formuletan (NDFs) oinarritzen den maila aldakorreko pauso anitzeko metodoa da. Sistema leunetan edo ode45 metodoak huts egiten duenean (edo oso geldoa denean) erabiltzen da. Metodo honen maila 1 eta 5 artean egon daiteke. Metodoaren maila zenbat eta handiagoa izan, kalkuluen zehaztasuna handiagoa izango da, baina ezegonkorra izan daiteke. Hori dela eta, modeloa leuna bada eta egonkortasun handia behar badu, gomendatzen da maila 2ra jaistera edo ode23s metodoa erabiltzea.

ode23s: Rosenbrock-en bigarren mailako formularen oinarrituriko metodoa da. Pauso bakarreko metodoa denez, kasu batzuetan tolerantziak ez direnean oso zorrotzak, ode15s baino efizienteagoa izan daiteke. Sistema leunentzat gomendatzen da.

Discrete: SIMULINKek ereduaren denbora diskretuko elementuak dauzkala detektatzen duenean erabiltzen den metodoa.

Fixed-step edo pauso finkoko metodoak (Solver)

ode5: ode45 metodoaren pauso finkoko bertsioa da (Dormand-Prince-ren formula).

ode4: 4 mailako Runge-Kuttaren formularen oinarritzen da

ode3: ode23 metodoaren pauso finkoko bertsioa da (Bogacki-Shampine-ren formula)

ode2: Heun-en metodoan oinarritzen da; Euler-en formula hobetua deritzo.

ode1: Eulerren metodoan oinarritzen da.

discrete (pauso finkoa): metodo honek ez du integrazio egiten. Modelo ez-jarraituen kasuan gomendatzen da.

Pauso maximoko eta minimoko tamainak

Pauso aldakorreko sistemetan simulazioan erabili beharreko pauso maximoko eta minimoko tamainak hauta daitezke. Pauso finkoko sistemetan pausoaren tamaina finka daiteke.

Pauso maximoko tamaina (MaxStepSize): pauso aldakorreko metodoetan pausoak har dezakeen tamainaren goiko muga da. Aukera AUTOn dagoenean, parametroa honela zehazten da:

Gehienetan balio hau nahikoa da, baina kasu batzuetan balio hori aldatu beharra egoten da, solverren pauso handiak hartzeko ahalmena dela-eta sistemaren portaera azkarrak ez galtzeko. Simulazioak denbora asko irauten badu, solverrak emaitza aurkitzeko pausoa oso handia delako izan daiteke.

Pauso minimoko tamaina (MinStepSize): pauso aldakorreko metodoetan pausoak har dezakeen tamainaren beheko muga da.

Hasierako pausoaren tamaina (InitialStepSize): hasierako pausoaren tamaina zehazteko SIMULINKek egoeren deribatuak analizatzen ditu, eta horrela ez da informaziorik galtzen (pauso handiegi bat hautatzearen). Parametro hau lehenengo pausoaren tamainarako iradokizun bat besterik ez da, zeren solverrak, errore-baldintzak onargarriak ez badira, balio hori automatikoki txikiagotuko baitu.

Errore-tolerantziak

Solverrak integrazio-pauso bakoitzean teknika lokalak erabiltzen ditu. Pauso bakoitzean, egoera bakoitzaren balioa eta errore lokala (kalkulaturiko egoeren zenbatetsiriko errorea) kalkulatu dira. Adibidez, ode23 metodoak bigarren eta batzuetan hirugarren mailako hurbilketak erabiltzen ditu, eta lorturiko emaitzen arteko aldean oinarriturik zenbatesten da errorea. Errore lokal hori errore onargarriaren (tolerantzia erlatibo eta absolutuen funtzio den errorea) kotarekin alderatzen da. Kalkulaturiko egoera batzuetarako zenbatetsiriko errore lokala onargarri den errore-kota baino handiagoa bada, orduan solverrak bere pausoa murrizten eta birkalkulatzen du.

Tolerantzia erlatiboa (Relative tolerance): egoera bakoitzeko balioaren errore erlatiboa neurtzen du. Parametro horren balioa 10^{-3} bitartean ezarrita egoten da; alegia, kalkulaturiko egoerak % 0,1eko zehaztasuna izango du.

Tolerantzia absolutua (Absolute tolerance): errore-balioaren atari-balioa adierazten du. Tolerantzia horrek egoerak zerora hurbiltzen diren heinean errorearen kota maximoa adierazten du.

1.2.5. Ereduetan oharra gehitu

Eredu batean testuak gehitzeko aukera dago: izenburuak, egilearen datuak, ereduaren azken aldaketa. Horretarako, ereduaren alde libre batean klik bikoitza egiten da testua han gehitzeko.

Testuaren ezaugarriak aldatzeko, saguaren eskuineko botoia klikatu, eta "Properties" aukera erabili.

1.2.6. Seinaleak etiketatu

Seinaleak etiketatzeko nahikoa da seinalea garraiatzen duten gezienean klik bikoitza egitea eta etiketan idaztea. Etiketa horiek erlazionaturik dauden gezienekin batera mugituko dira.

1.2.7. Azpisistemak

Simulink erabiliz sistema konplexuak modelatzen ahal dira sistema sinpleak bezain erraz, bloke edo konexio kopuruetan mugarik eduki gabe.

Modelo konplexuak sortzeko azpisistemak sortzen dira, blokeak bilduz. Azpisistemekin lan egiteko, top-down eta bottom-up ikuspuntuak erabiliz ereduak eraiki daitezke.

Azpisistemak sortzeko:

Azpisistema bat sistema konplexuago baten sinplifikazioa da, zenbait elementuren bilketa. Azpisistemaren elementuetara joateko azpisisteman klik bikoitza egiten da.

Azpisistemak sortzeko modu bi daude:

1. Behar ditugun elementuak aukeratuz, eta menuko atalean Edit/Create subsystem eginenez.
2. Zuzenean Commonly Used Blocks bibliotekan Subsystem blokea hautatuz eta editatuz.

Dena den, In sarrera-bloke batek eta Out irteera-bloke batek mugatuko dute azpisistema.

1.2.8. Maskarak

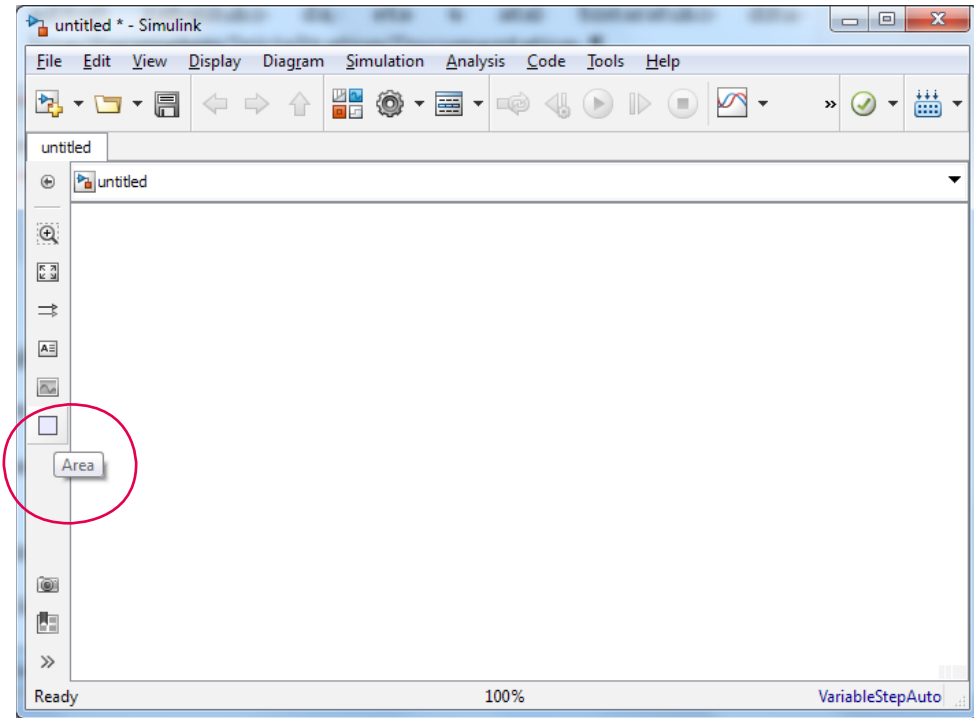
SIMULINKen maskara-funtzioek azpisistemak pertsonalizatzeko balio dute.

Maskara batek aukera hauek ematen ditu:

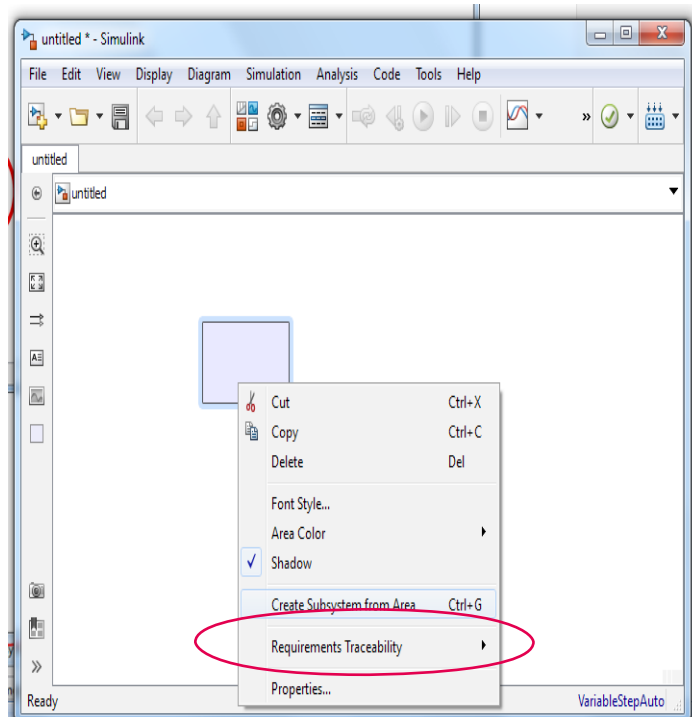
- Azpisistema baten ikono pertsonalizatua eraikitzea.
- Azpisistemako blokeen parametroak sartzeko elkarrizketa-koadro baten bidezko erabiltzaile-interfazea.

Maskarak sortzeko metodoa:

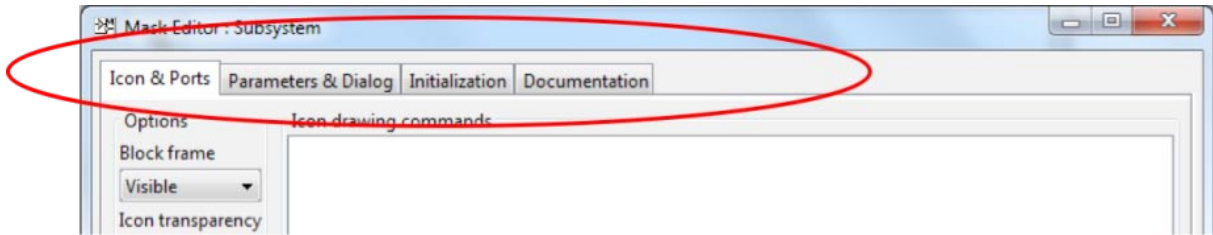
- a) Azpisistema-blokea sortu: Area ikonoan klik egin (1.8. irudia) eta blokea sortu, ondoren blokean saguaren eskuin-botoiarekin klikatu eta Create Subsystem hautatu (1.9. irudia).
- b) Azpisistema-blokean saguaren eskuin botoiarekin klikatu eta Mask/Create mask aukera erabiliz maskara-editorea (Mask editor) zabalduko da (1.10. irudia), eta lau atal bistaratu ditu: Icon, Parameters, Initialization eta Documentation



1.8. IRUDIA
Azpisistema-blokea sortu



1.9. IRUDIA
Azpisistema-blokea sortu



1.10. IRUDIA
Maskara-editorea

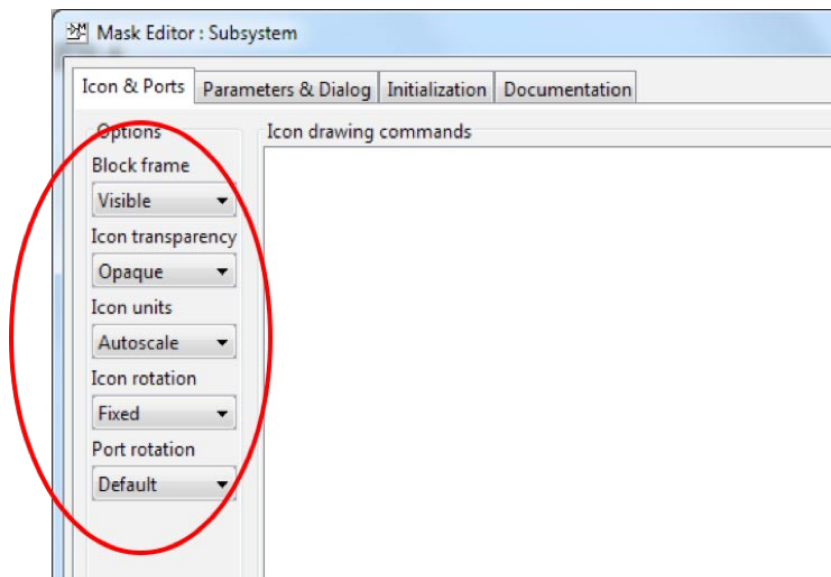
Icon: Atal honen aukerarik garrantzitsuenak:

Frame: blokearen markoa bistartzeko

Transparency: opaque/transparent aukerak blokearen informazioa bistartzen edo ezkututzen du.

Rotation: blokea biratzeko.

Units: marrazketa-komandoen (plot eta text) koordinatu-sistema aukeratzeko.



1.11. IRUDIA
Maskara-editorearen Icon&Ports aukerak

Drawing comands (marrazketa-komandoak):

Plot: x eta y bektore pareak definituriko lerro zuzenaren grafikoa marrazten du.

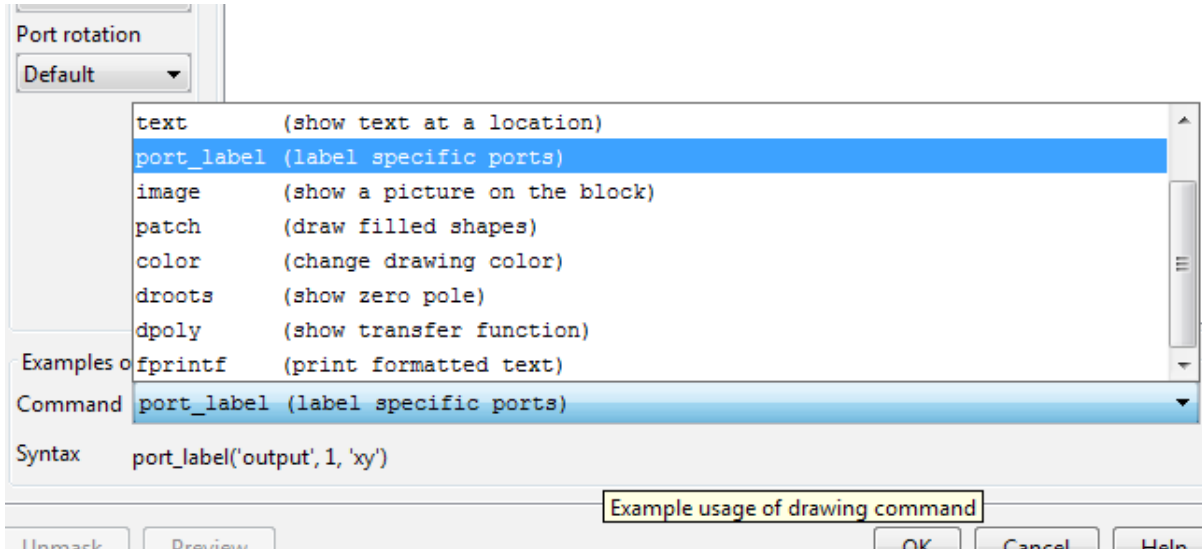
Patch: koloretako grafiko bat marrazten du.

Image: hautaturiko blokean argazki edo irudi bat erakusten du.

Text: koordinatuz definituriko kokapen batean testua erakusten du.

Dpoly: s edo z transferentzia-funtzioa ikustatzen du.

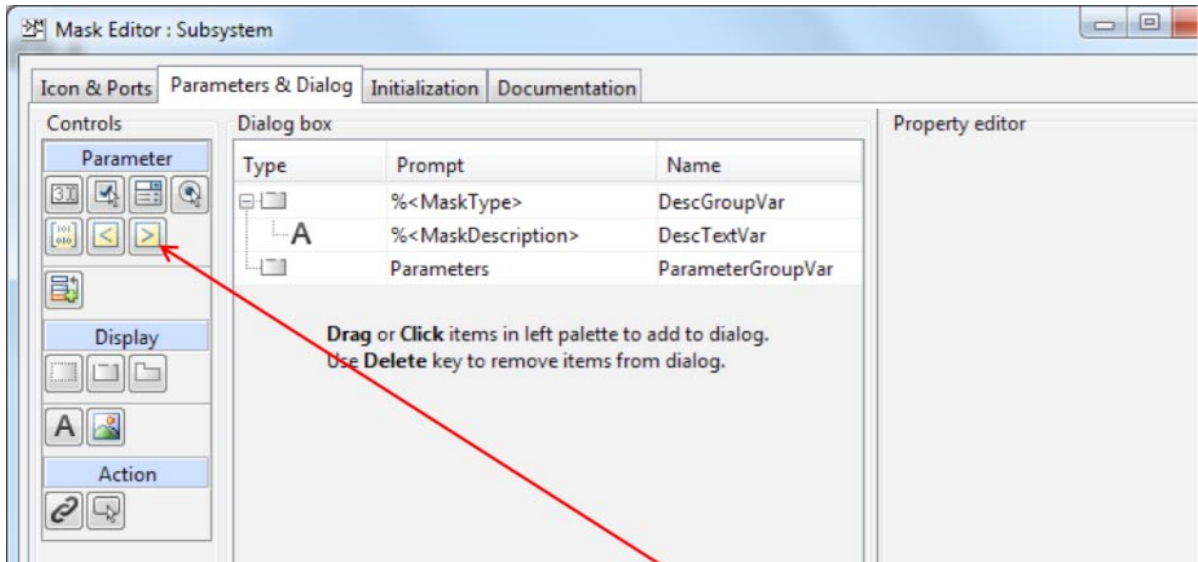
...



1.12. IRUDIA

Maskara-editorearen aukerak

— **Parameters:**



Maskararen parametroak gehitzeko ikonoetan klikatzen da

1.13. IRUDIA

Maskara-editorearen parametroen gehitzea

1.3. ERABILTZAILEAREN INTERFAZE GRAFIKOA

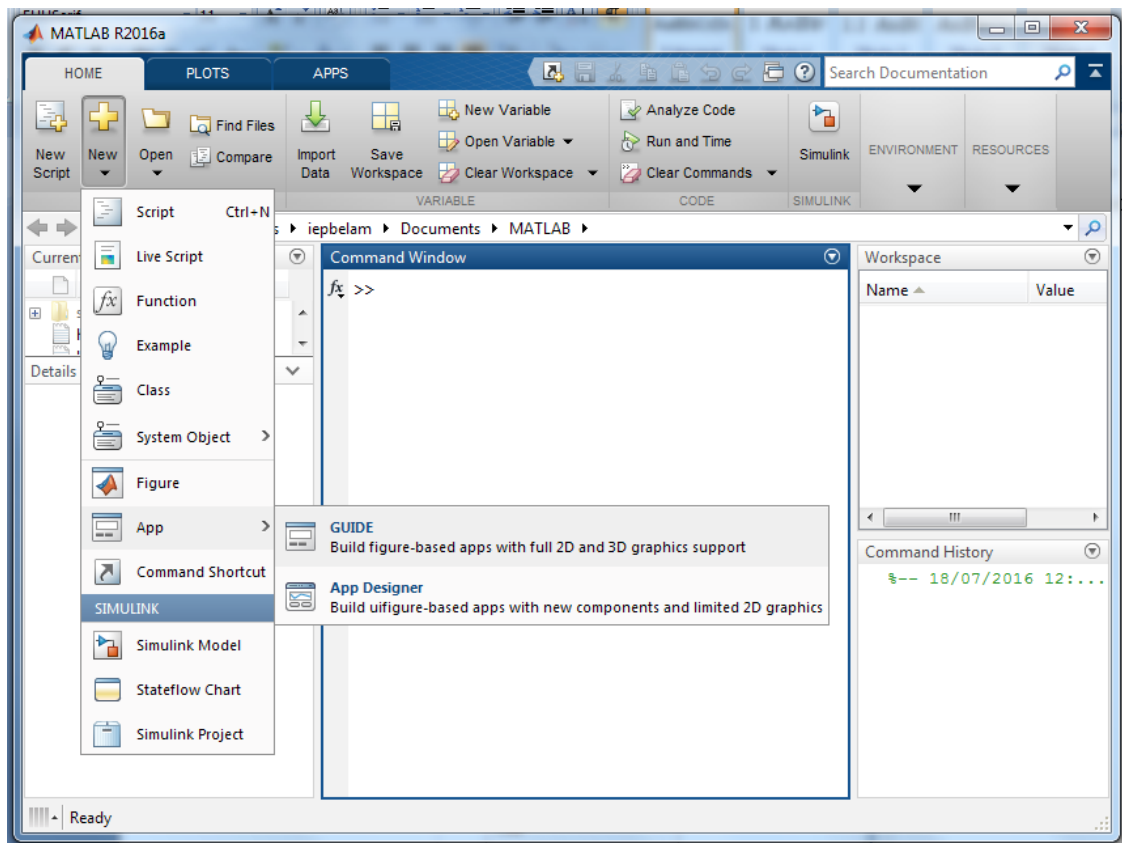
Erabiltzailearen interfaze grafikoa GUI da (Graphical User Interface). Irudi eta objektu grafiko sorta bat erabiltzen du interfazean eskuragarri dauden ekintza eta informazioa adierazteko.

GUIko eragiketak zuzenean egiten dira: ez da beharrezkoa erabiltzaileak script bat sortzea, komando-lerroa erabiliz programatzea edo zenbait ekintza egiteko behar diren zehaztapenak ezagutzera.

1.3.1. GUI eta Matlab

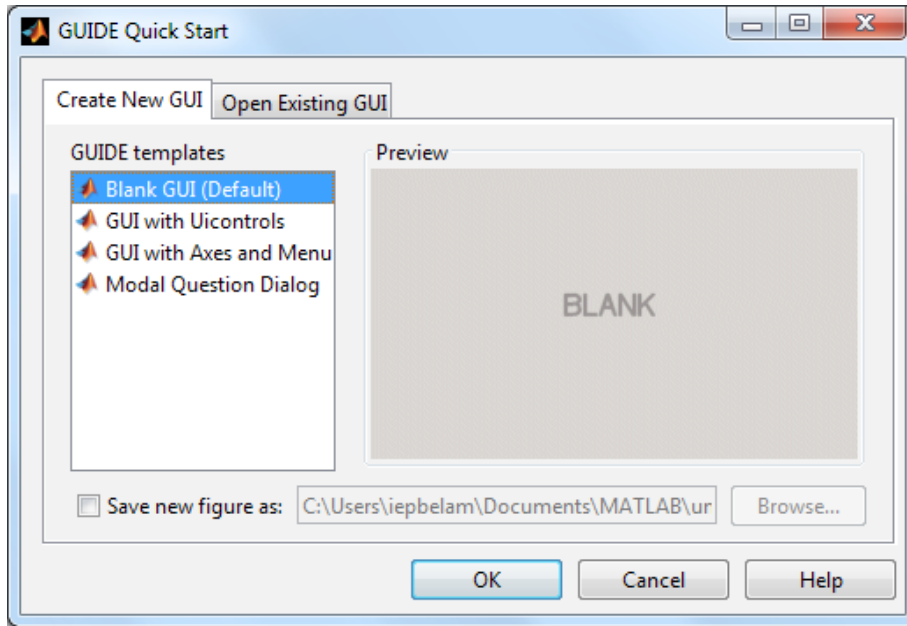
Programazioaren ikuspuntutik, Matlab-en, erabiltzaileak eragiketak modu interaktiboan egiteko leihoen bistaratze grafiko bat da GUI. Leiho horiek kontrolak izango dituzte, hau da, osagaiak.

1.14. irudian, GUI abiarazteko era ageri da.



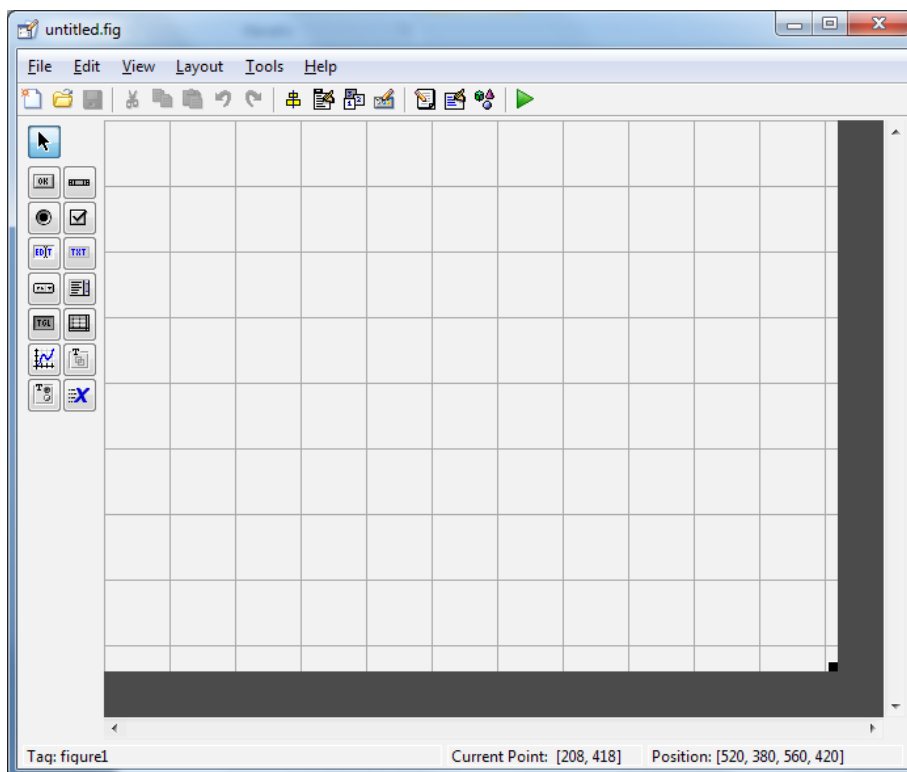
1.14. IRUDIA
GUI abiarazi

1.15. irudian, GUI abiarazi ondoren azaltzen diren aukerak dituzue. GUIaren diseinua orri zuri baten bidez (hau da, hasieratik) egin nahi bada, Blank GUI aukera hautatu behar da.



1.15. IRUDIA
GUIko hasiera-leiho

Behin hautaketa egin ondoren lan-orria zabalduko da (1.16 irudia).



1.16. IRUDIA
GUI lan orri leih

GUIko osagaiak 1.16 irudiko ezkerrean dauden ikonoak dira. Osagai horien bidez sor daitezke behar diren diseinuak.

1.3.2. Matlab erabiliz GUI-ak sortu

Matlab-eko GUI bat irudi-leiho bat da, eta leiho horretan erabiltzaileak nahi dituen kontrolak (osagaiak) gehitzen ditu. Erantzunak (callbacks) erabiliz osagaiak erabiltzaileak nahi duen ekintza egitea lortzen da. Ekintza hori klik eginez edo teklatua erabiliz gauzatuko da. Matlaben GUIak sortzeko bide bi daude:

- a) GUIDE erabiliz: GUIDE, GUIak sortzeko aplikazio interaktibo bat da. GUIDE abiarazteko irudi-leihoa zabaltzen da, eta leiho horretan behar diren osagaiak kokatzen dira. GUIDEk “.m” fitxategiak sortzen ditu, eta fitxategi horiek erantzunak (callbacks) dituzte. GUIDEk fitxategi mota bi erabiltzen ditu: irudia gordetzeko fitxategia (.fig), eta aplikazioaren iturburu-kodea biltegitratzen duen fitxategia (.m).
- b) GUIak sortzen dituzten “.m” fitxategiak erabiliz (funtzio edo scriptak) edo GUIak programazio bidez eraikiz. Kasu horretan, osagaien portaera eta ezaugarriak definitzen dituen fitxategia kodifikatzen da, eta erabiltzaileak “.m” fitxategia exekutatzen duenean irudi-leihoa sortzen da osagaiekin.

1.3.3. GUIDE erabiliz GUI sortu. Pausoak

- a) GUI aplikazioa paperean diseinatu.
- b) GUI diseinatu, beharrezko osagaiak sartuz eta komendi den itxura emanez.
- c) Osagaiek sortuko dituzten erantzunak kodifikatu (saguarekin klikatzean, teklatua erabiltzean...). Hau da, aplikazioaren portaera definitu.
- d) Aplikazioa exekutatu.

1.3.4. GUIDE aplikazio baten fitxategiak

GUIDE aplikazioak gutxienez bi fitxategiz osaturik egongo dira.

.fig fitxategia: fitxategi bitarra da, eta GUIaren diseinuaren eta osagai guztien deskribapena dauka. Fitxategi hori GUIDE Layout Editor editorean bakarrik alda daiteke.

.m fitxategia: testu-fitxategia da. Hasieratze-kodea eta GUIaren portaera kontrolatzen duten callback-funtzioen txantiloak dauka.

Oharra:

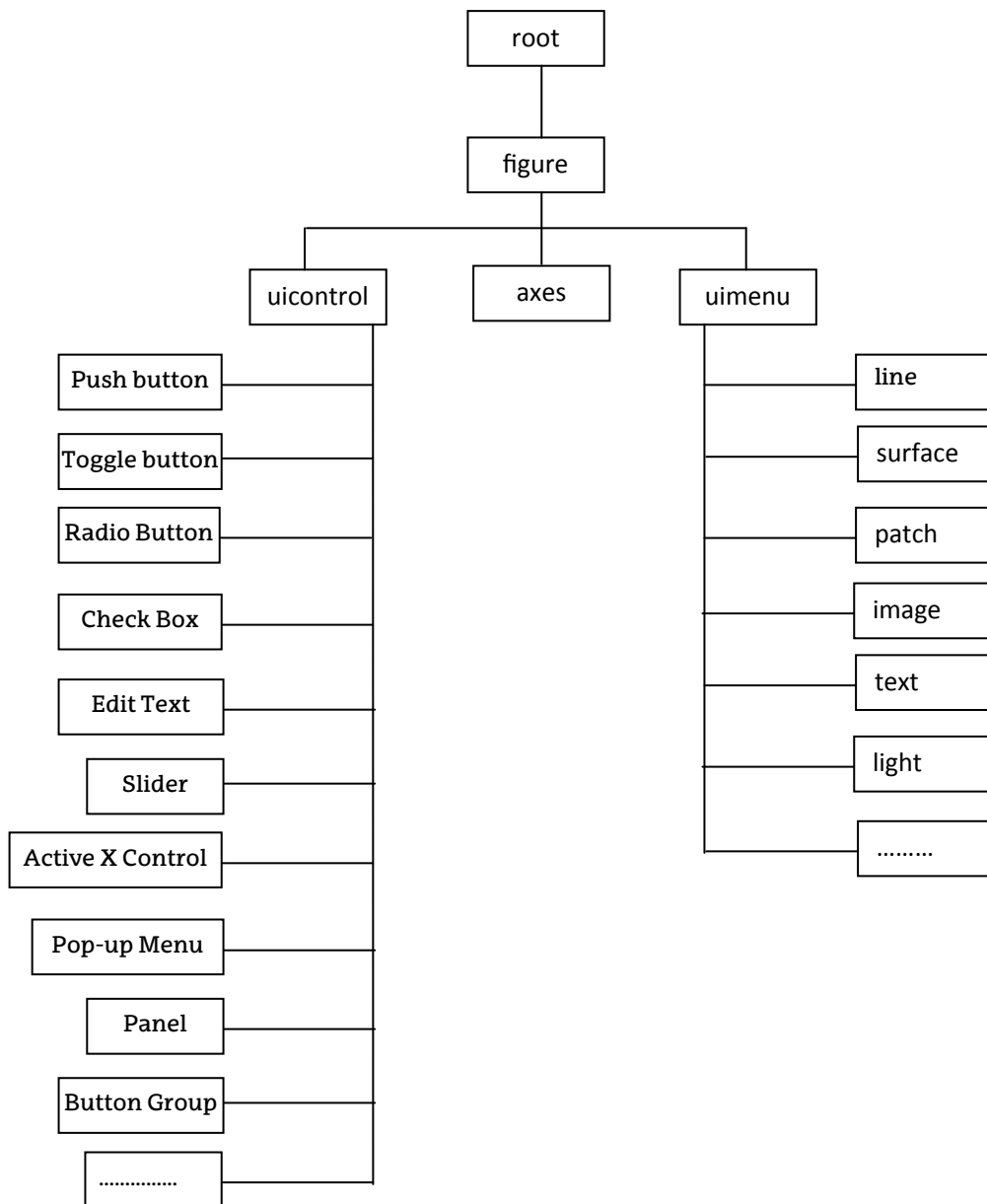
.fig eta .m fitxategiek izen berdina izan behar dute, eta direktorio berean egon ere bai. Lehengo aldiz gordetzen direnean, GUIDE aplikazioak automatikoki .m fitxategia irekiko du MATLAB editorean.

1.3.5. GUIDE aplikazioa. Programazioa

Zer da callback?

Callback, edo dei-erantzuna, erabiltzaileak idazten duen funtzio bat da, GUIaren osagai zehatz batekin loturik dagoena edo GUI irudiarekin berarekin. Callbackak GUIaren edo osagaiaren portaera kontrolatzen du. Osagaiaren portaera zehazten duen eragiketa honelakoa izan daiteke: botoiaren gainean saguarekin klik egitea, menu batean hautatzea, tekla bat sakatzea...

MATLABeko objektu grafikoek 1.17. irudian ageri den hierarkia erakusten dute:



1.17. IRUDIA

Matlabeko objektu grafikoek hierarkia.

Hainbat callback mota daude, aldeztuak daudenak eta objektu motaren arabera sortzen direnak (CreateFcn, DeleteFcn, ButtonDownFcn, etab). Callback guztien zerrenda GUIDEn bistaratzeko: View/View Callbacks. Ez da beharrezkoa objektu baten callback guztiak betetzea (bazuetan aldeztuak beteta egoten dira hasieratze-aginduekin). Ohikoena callbacken ezaugarriekin lan egitea da.

GUI programatzaileak callback-ezaugarria erabiltzen du GUIaren portaera ezartzeko. Ataza kontrol simple bat aktibatuta exekutatu behar bada, ohikoena ataza callback-aren “Property Inspector” eremuan jartzea da. Adibidez: **Callback=grid on** edo **Callback=close**.

Baina ataza konplexua denean, “.m” fitxategia erabiltzen da.

Objektuak: “root” objektua pantaila nagusia da. “root” ez badago (hau da, MATLAB programa ez badago irekita), ez da beste objekturik egongo (ez figure, ez axes...). Adibidez “root”-en `>>plot(t,y)` idazten dugunean “y” “t”-ren funtzioan grafikoki adierazteko beharrezko diren objektu guztiak irekitzen dira (figure, axes, lines). Pantaila batek leiho bat edo gehiago eduki dezake (figure). Berriz, leiho bakoitzak menu zabalgarri, botoi, etab kontrolak (uicontrol), menuak (uimenu) eta koordenatu ardatz bat edo gehiago (axes) eduki dezakelarik. Ardatzak bost elementu grafiko mota eduki dezakete: lerroak (line), poligonoak (patch), testua (text), azalera (surface) eta bit-mapa irudiak (image)

“Handle” eta propietateak: Objektu grafiko guztiek “handle” bat daukate (identifikazio-zenbaki bat), eta propietate multzo bat (kolorea, kokapena, etab.). Propietate batzuk aldatzen ahal dira, baina beste batzuk ez. Objektuen propietateak testu-komandoen bidez eskuragarriak dira (set, get), eta baita ere GUIDEn editore grafikoko tresnen bidez (Property Inspector, Object Browser, Menu Editor)

Set eta get komandoak

Osagaien balioak ezartzeko edo lortzeko, “get” eta “set” aginduak erabiltzen dira.

“get” aginduak objektu grafikoaren ezaugarri baten edo batzuen balioa bueltatzen du, eta “set” aginduak balio horiek aldatzen ditu, posible bada behintzat.

Adibidez, kelvinak celsiusetara pasatzeko:

%Lehenengo datuak jaso behar dira; hau da, kelvinetan ematen den balioa. Datuak handle identifikatzailearen bidez eskuratzen dira

```
kelvin1=eval(get(handles.kelvin,'string'));
```

%Ondoren, balioa aldatzeko eragiketaren formula adierazi behar da:

```
celsius1 = kelvin1- 273.15;
```

%celsius1-en balioa statictext-en (Tag celsius) kokatzeko:

```
set(handles.celsius,'string', celsius1);
```

Tag eta String ezaugarriak

Object Browser-eko objektu bakoitzaren “Tag” eta “String” ezaugarriak parentesi artean adierazten dira.

“Tag” ezaugarria objektua erreferentziatzen duen izena da; horrela ez dago zertan handlezenbakia erabili. GUIDEk lehenetsitako izenak ipintzen ditu, baina ohikoena izaten da erabiltzaileak berak izendatzea, kontrolak aktibatutakoan gauzatzen den ekintzarekin loturiko izenen bat aukeratuz.

“String” ezaugarria kontrol bakoitzaren gainean dagoen izenari erreferentzia egiten dion ezaugarria da (kontuan izan komatxo artean agertzen dela)

2.

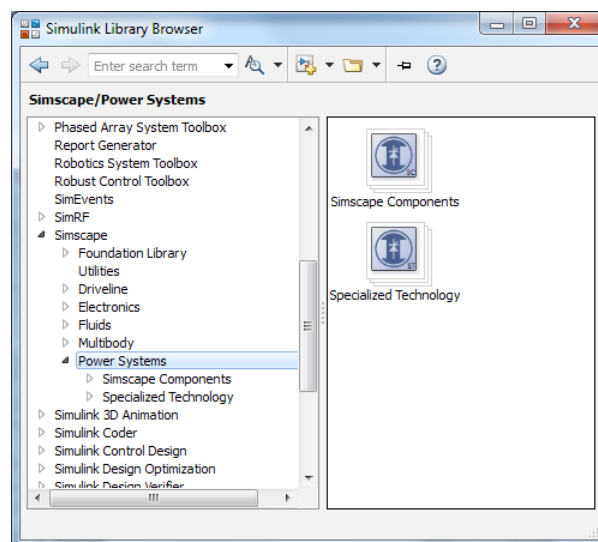
Simscape Power Systems

Potentzia elektrikoko sistemen ereduak egin eta simulatzeko Simulink-eko atala.

Simscape Power Systems atalak potentzia elektrikoko sistemen ereduak egin eta simulatzeko osagaien biblioteka eta analisi tresnak eskaintzen ditu. Makina trifasikoak, eragingailu elektrikoak eta energia berriztagarri eta korrante alferno transmisikoko sistema malguen (FACTS) eta energia berriztagarri sistemen aplikazioentzako osagaiak barne dituen energia elektrikoko ereduak dituelarik.

Simscape Power Systems atalarekin eta MATLAB-en aldagaiak eta adierazpenak erabiliz ereduak parametrizatu ahal dituzu eta Simulink-en zure potentzia elektrikoko sistemarentzako kontrol sistemak diseinatu.

Simscape Power Systems softwareak potentzia elektrikoko sistemen ereduak egiteko teknologia mota bi ditu, “Simscape Components” eta “Specialized Technology”, bakoitza bere bibliotekarekin (ikus 2.1 irudia). Biblioteka bietako elementuak erabil daitezke sistemak sortu eta simulatzeko. Simscape Power Systems-eko modelo bat biblioteka bietako elementuak erabiliz diseinatzeko aukera dago.



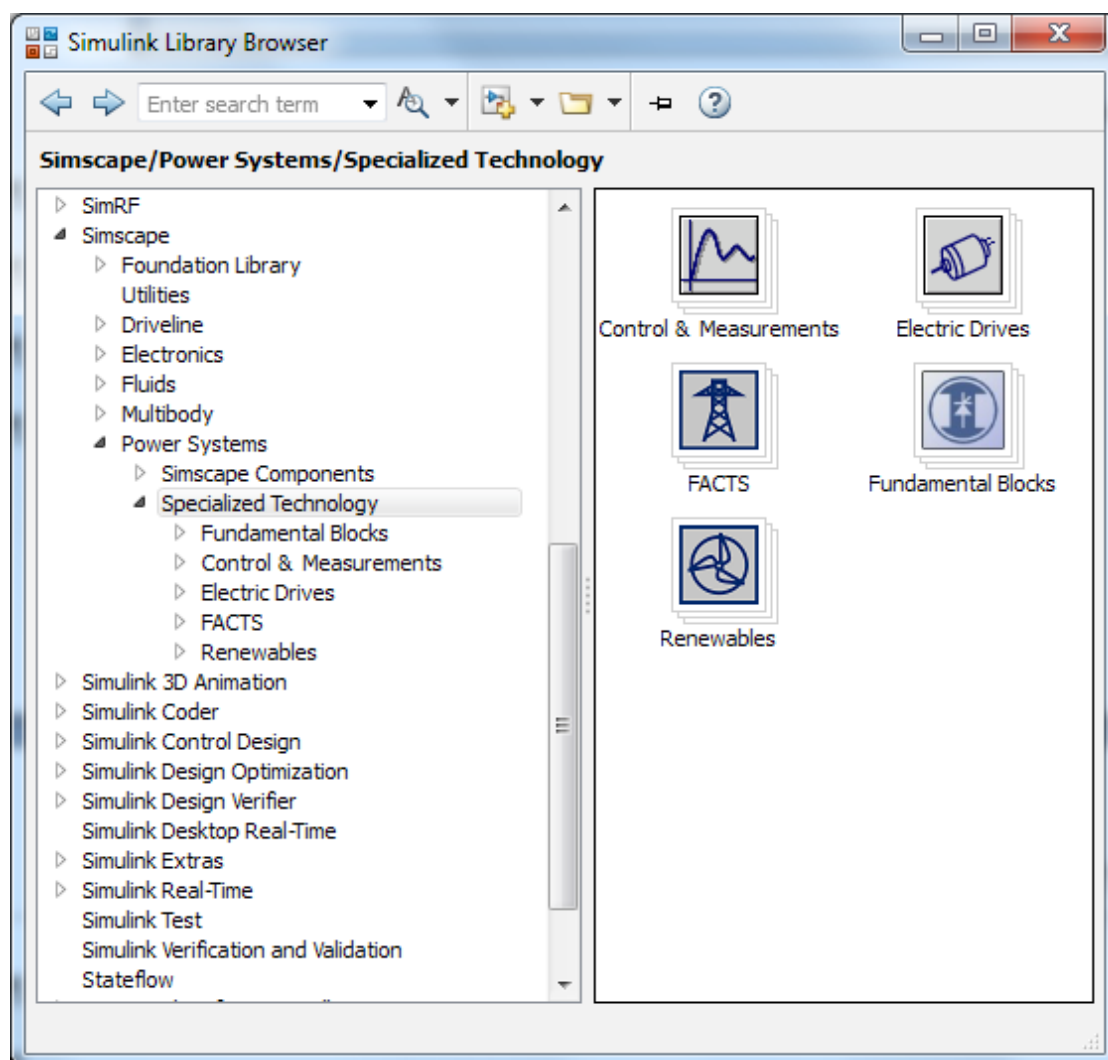
2.1. IRUDIA

Makina asinkronoaren blokeak Simulink-en

Simscape Components bibliotekako modeloak Simscape teknologia osoa erabiltzen dute eta osagaien modeloak Simscape lengoian idatzita daude. Modelo hauek Simscape Foundation bibliotekako osagaiekin eta beste produktu batzuen osagaiekin zuzenean konetatzea posible da. Makina eta transformadoreentzako programazio-kode adibideak ikusi eta pertsonalizatzeko aukera dago. Simscape components bibliotekako modeloak Simscape teknologiarekin guztiz bateragarriak dira.

Specialized Technology bibliotekak potentzia elektrikoko sistementzako garaturiko osagaiak eta teknologiak eskaintzen ditu. Specialized Technology bibliotekako modeloak euren eremu elektrikoa erabiltzen dute. Simulink seinaleak erabiliz biblioteka honetako blokeak Simscape-ko beste elementu batzuekin konektatzen dira. Specialized Technology softwareak simulazio metodo ezberdinak eta analisi tresnak eskaintzen ditu.

Makina elektrikoaren simulazioak egiteko Specialized Technology biblioteka erabiliko dugu. 2.2. irudian Specialized Technology bibliotekaren atalak erakusten dira.



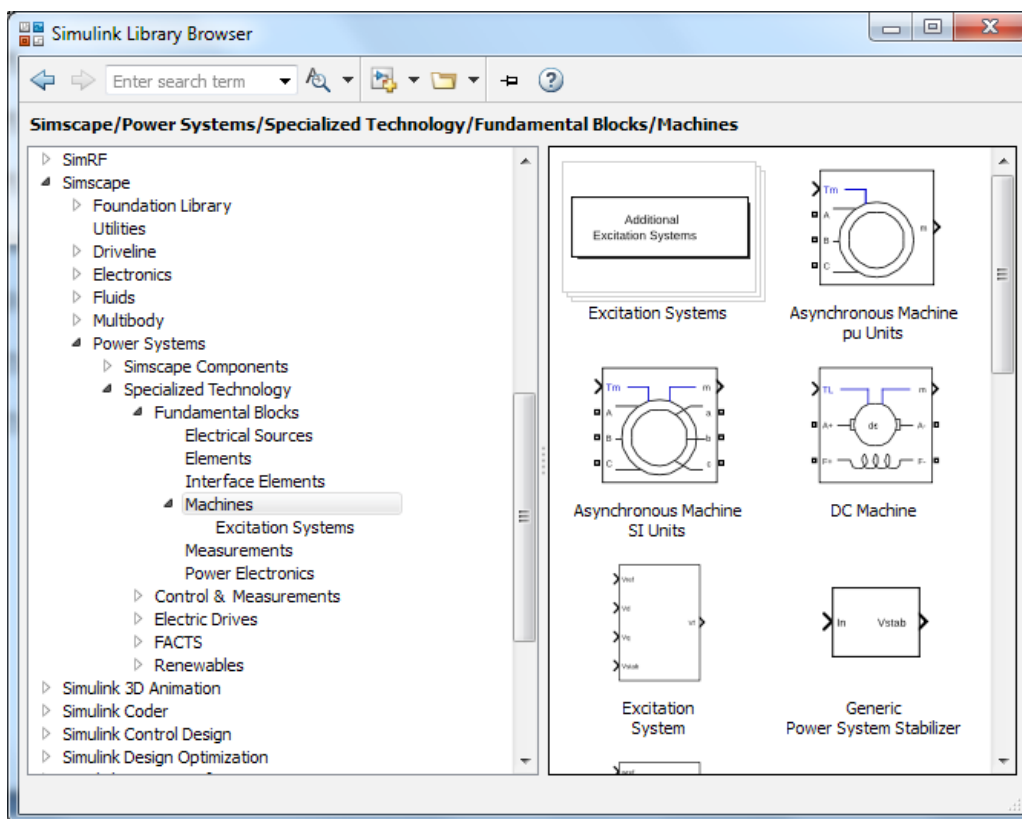
2.2. IRUDIA

Specialized Technology biblioteka Simulink-en

Specialized Technology bibliotekaren atalak ondorengoak dira:

- Electrical Sources and Elements: korrante alternoko eta korrante zuzeneko sorgailuak, transformadoreak, etengailuak, RLC karga eta adarrak, garraio lineak.
- Motors and Generators: makina asinkrono eta sinkronoak, motorrak, kitzikapen sistemak.
- Power Electronics: tiristoreak, diodoak, zubiak.
- Sensors and Measurements: tentsio, korrante eta impedantzi tentsoreak, neurketa bloke bereziak.
- Control and Signal Generation: pultsu sorgailuak, iragazkiak, seinale transformaziorako blokeak.
- Electric Drives: korrante alternoko eragingailuak, korrante zuzeneko eragingailuak, ardatz, abiadura erreduktoreak, pilak, erregai pilak.
- FACTS and Renewable Energy Systems: korrante alternoko transmisio sistema malguak (FACTS) eta aerosorgailu-modeloak.
- Interface to Simscape: Simscape Power Systems eta Simscape-ko zirkuitu elektrikoaren konexiorako blokeak.
- Simulation and Analysis: simulazio exekuzioak, analisi tresnak eta teknikak.

Specialized Technology bibliotekako Fundamental Blocks atalean klik eginez 2.3. irudian erakusten den Machines atala bistaritzen da. Machines atal honetan simulazioak egiteko erabiliko diren makina elektrikoaren modeloak dituzu.



2.3. IRUDIA

Makina elektrikoaren modeloak Simulink-en

3.

Makina asinkronoa

3.1. DESKRIBAPENA

Korronte alternoko makina asinkronoen errotoreak inoiz ez du bira egiten sinkronismo-abiaduran. Horixe da makina horien bereizgarria: ezin direla sinkronismo-abiadurara heldu, alegia. Eta hori hala da, nolana ere erabilita ere.

Makina asinkronoei indukziozko makina ere esaten zaie.

Makina asinkronoen sailkapena ezaugarri hauen arabera egin daiteke:

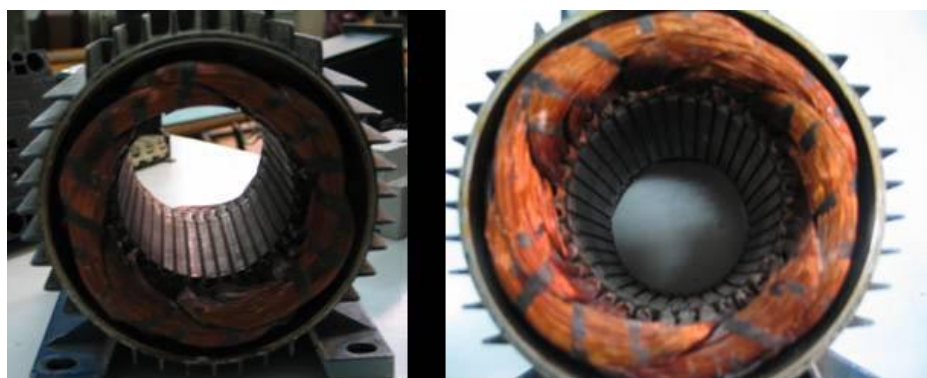
Polo kopuruaren arabera: bipolarrak, tetrapolarrak, etab.

Errotore motaren arabera: urtxintxa-kaiolako errotorea eta errotore harilkatua.

Fase kopuruaren arabera: monofasikoak eta polifasikoak. Polifasikoen artean makina trifasikoak dira gehien erabiltzen direnak.

Eraikuntzaren atalari dagokionez, makina asinkronoetan hiru osagai hauek bereiz ditzakegu: estatorea, errotorea eta bi horien arteko burdinartekoa.

Estatorea: makinaren alde finkoa da (ikus 3.1 irudia). Altzairuzko xaflaz egin dago, non hiru harilkatu baitaude eremu magnetiko birakaria sortzen duen induktorea osatzen dutenak.



3.1. IRUDIA

Makina asinkrono baten estatorea

Errotorea: pieza higikorra da (ikus 3.2 eta 3.3 irudiak). Estatorearen eremu magnetikoaren barruan dago.

Bi motatako errotoreak daude:

Urtxintxa-kaiolako errotorea: ez du kanpo-konexio elektrikorik.

Errotore harilkatua: errotorean harilkatuak dauzka; kanpo-konexio elektrikoa behar du.



3.2. IRUDIA

Urtxintxa-kaiolako errotorea



3.3. IRUDIA

Errotore harilkatua

Estatorea: makinaren alde finkoa da (ikus 3.1. irudia). Altzairuzko xaflaz egina dago, non hiru harilkatu baitaude eremu magnetiko birakaria sortzen duen inductorea osatzen dutenak.

Burdinartekoa: errotorearen eta estatorearen banaketa mekanikoa egiten du. Estatorearen eta errotorearen atal magnetikoekin batera makinaren zirkuitu magnetikoa osatzen du.

Makina asinkronoaren blokeak motor eran edo sorgailu eran funtziona dezake.

Motor era izaten da makina mota hauen ohiko funtzionamendua. Funtzionamendu modu horretan, makinaren estatoreko harilkadura sare elektrikora konektatzen da, eta errotorearen harilkadurak zirkuitulaburturik egon behar du.

Sorgailu-funtzionamendua potentzia txikiko zentral elektrikoetan edo antzeko instalazioetan erabiltzen da, eta horretan errotorea sinkronismo-abiadura baino abiadura altuago batean arrastatzen da. Kasu horretan, errotoreak zirkuitulaburturik egon behar du. Sorgailu eran makinak konektaturik dagoen sare elektrikoetik bere magnetizaziorako behar duen potentzia erreaktiboa xurgatzen du, eta sarera potentzia aktiboa injektatzen.

3.2. INDUKZIO-MAKINA TRIFASIKO BATEN FUNTZIONAMENDUAREN PRINTZIPIOA

120°-ko angeluarekin eta tentsio trifasiko orekatu batekin elikaturiko hiru harilkadura berdin dituen estatore batek ω_s abiadura konstante batean biratzen den eremu magnetiko birakari bat sortzen du, abiadura hori sinkronismo-abiadura izanik. Sinkronismo-abiadura minutuko biratan neurtzen denean, n_1 izendatzen da, eta beraren balioa estatoreko korronteen f_1 maiztasunetik abiatuz kalkulatzen da, eta p makinaren polo pare kopurua kontuan izanik.

$$n_1 = \frac{120 \cdot f_1}{2p} = \frac{60 \cdot f_1}{p} \quad (3.1)$$

Harilkadura bakoitzak fluxu bat sortzen du, bere magnitudea denboran sinusoidalki aldatzen duena eta harilkaduraren ardatzarekin bat datorren noranzkoa duena. Modu horretan, fase bakoitzarentzat estatorean indar magnetoeragile bat sortzen da.

Estatoreko eremu birakariak errotoreko eroaleetan indar elektroeragileak induzituko ditu. Errotoreko zirkuitua itxita badago, fluxuarekin erreakzionatuko duten korronteak sortuko dira. Korronte horien eta estatoreko eremu magnetikoaren elkarrekintza dela-eta indar pareak agertuko dira. Hau da, eremu birakaria dela-eta errotorearen harilkaduretan indar elektroeragileak induzituko dira. Errotorearen harilkadurak zirkuitulaburturik daudenez, harilkadura horietan zehar igaroko diren intentsitateak eremu magnetiko baten barnean daude, eta errotorea n_2 abiaduraan biraraziko duen indar parea sorraraziko dute.

Lenz-en legea dela-eta, pare mekaniko hori errotoreko harilkaduran gertatzen diren fluxu magnetikoaren aldaketak murrizten ahaleginduko da, eta horretarako errotorea eremu magnetiko birakariaren abiadura berdinean biratzen ahaleginduko da.

Eremu magnetiko birakariaren eta errotorearen abiadurak berdinak izanez gero, estatoreko eta errotoreko eremuen arteko mugimendu erlatiborik ez litzateke egongo, eta ondorioz ez litzateke indar elektroeragilerik induzituko. Indar elektroeragilerik ez badago, ez dago induzituriko korronterik eta ondorioz ez dago parerik.

Estatoreko eremu magnetiko birakariak errotorearekiko duen abiadura erlatiboa irristadura-abiadura da (3.2 ekuazioa). Irristadura-abiadura sinkronismo-abiaduraz zatituz irristadura, s , lortzen da (3.3 ekuazioa).

$$n_s = n_1 - n_2 \quad (3.2)$$

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (3.3)$$

Makina asinkronoen ohiko funtzionamendua motor erakoa da, eta irristadura-balioa 0 eta 1 artean dagoenean gertatzen da. Irristadura-balioa kontuan izanik motor-funtzionamenduan:

Barne-potentzia mekanikoa positiboa da. Ardatzera energia mekanikoa transmititzen da.

Burdinarteko potentzia positiboa denez, pare elektromagnetikoa positiboa da.

Burdinarteko potentzia positiboa bada, estatoretik errotorera energia transmititzen da.

Makinaren funtzionamendua sorgailu erakoa denean, abiadura sinkronismo-abiadura baino handiagoa izango da, eta ondorioz irristadura negatiboa izango da. Sorgailu-funtzionamenduan, makinak kanpo-energia mekanikoa jasotzen du, eta, energia mekaniko hori dela-eta, sinkronismo-abiadura baino abiadura altuagoan biratzen da, eta estatorearen bitartez energia elektrikoa bidaltzen du sare elektrikorara. Sorgailu-funtzionamenduan, irristadura negatiboarekin:

Barne-potentzia mekanikoa negatiboa da. Makinak ardatzetik potentzia mekanikoa hartzen du.

Burdinarteko potentzia negatiboa da. Pare elektromagnetikoa negatiboa da.

Burdinarteko potentzia negatiboa denez, energia-transferentzia errotoretik estatorera egiten da.

Makina asinkrono baten balazta-funtzionamendua irristaduraren balioak 1 baino handiagoak direnean agertzen da. Hau da, errotorearen abiadura negatiboa denean. Egoera horretan, errotorea eremu birakariaren aurkako noranzkoan biratzen da, eta makinak bai sare elektrikitik bai ardatzetik energia jasotzen du. Balazta-funtzionamenduan:

Karga erresistentzia negatibo bihurtzen da, eta ondorioz barne-potentzia mekanikoa negatiboa da. Makinak ardatzetik energia mekanikoa jasotzen du.

Burdinarteko potentzia kantitate negatibo biren zatidura da; ondorioz, potentzia positiboa izango da, eta pare elektromagnetikoa ere bai.

Burdinarteko potentzia positiboa denez, estatoretik errotorera energia bidaltzen da. Ondorioz, sare elektrikitik xurgatzen den potentzia positiboa da.

Balazta-funtzionamenduan makinak sare elektrikitik energia elektrikoa jasotzen du, eta ardatzetik energia mekanikoa. Funtzionamendu hori motorra balaztatu nahi denean erabiltzen da.

3.3. MOTOR ASINKRONO TRIFASIKOAK

3.3.1. Deskribapena

Motor asinkrono trifasikoaren estatorean, hiru faseen harilkadurak daude. Espirak estatorearen arteketan kokatzen dira, eta estatorearen fase bakoitzaren harilkadura espira horien multzo batez osatzen da. Harilkadura horiek triangelu- edo izar-forman konektatzeko aukera dago.

Estatorearen hiru faseak tentsioetan orekatua den sistema trifasiko batekin elikatzen direnean, harilkaduretan zehar f_1 maiztasuneko korrante trifasiko orekatuko sistema bat igaroko da: $i_1(t)$, $i_2(t)$ eta $i_3(t)$. Horrela, 2.1 ekuazioan adierazten den bezala, n_1 abiadura konstante batean biratuko den eremu birakari bat sortuko da.

2.1. ekuazioan, estatorean korrante alternoa aplikatzean sortzen den eremu magnetiko birakariaren abiadura adierazten da, non p motorraren polo pareen kopurua baita.

Eremu birakaria dela eta, errotorearen harilkaduretan indar elektroeragileak induzituko dira. Errotorearen harilkadurak zirkuitulaburturik daudenez, harilkadura horietan zehar igaroko diren intentsitateak eremu magnetiko baten barnean daude, eta errotorea n_2 abiadura batean biraraziko duten indar eta pareak sorraraziko dituzte.

Errotorearean n_2 abiadura inoiz ez da izango n_1 abiaduraren berdina, baina oso hurbil egongo da.

Errotorea n_2 abiaduran biratzen denean, errotorearen eta estatoreko eremu birakariaren arteko abiadura erlatiboari irristadura-abiadura, n_s , esaten zaio. Hori dela eta, errotoreko indar elektroeragileen eta korranteen maiztasuna 2.4 ekuaziokoa duzu:

$$f_s = \frac{p \cdot n_s}{60} = \frac{p \cdot s \cdot n_1}{60} = s \cdot f_1 \quad (3.4)$$

Motorraren funtzionamendua hutsekoa denean (hau da, karga gabeko funtzionamendua), errotorearen abiadura eremu magnetikoaren abiaduraren oso antzekoa izango da; ondorioz, n_s zerotik oso hurbil egongo da. Kasu horretan errotorearen korranteen maiztasuna baxua izango da, eta horrek makinaren errotorean gertatzen diren burdina-galera txikiak eragingo ditu.

Motor asinkronoan, estatorearen eta errotorearen polo kopurua berdina da. Hori dela eta estatoreko eta errotoreko eremuak sinkronismo-abiaduran akoplatzen dira, errotorearen abiadura, n_2 , beste bat izanda ere. Errotorean induzitzen diren indar elektroeragileek n_s abiadura erlatiboak inposturiko maiztasuna izango dute. Indar elektroeragile horiek f_s maiztasuneko korrante trifasikoak sortzen dituzte, eta horiek aldi berean errotorean f_s maiztasunak inposaturiko abiadura duen eremu magnetiko birakari bat sortzen dute. Hala gertatzen da, errotorearekin batera mugitzen den begirale batentzat; errotorearen eremu birakariaren abiadura 2.5 ekuazioan duzu.

$$\frac{60 \cdot f_s}{P_{\text{errotorea}}} \quad (3.5)$$

Errotorearen eta estatorearen polo kopuruak berdina direnez, n_s irristadura-abiadura:

$$n_s = \frac{60 \cdot f_s}{P_{\text{errotorea}}} = \frac{60 \cdot f_s}{P} \quad (3.6)$$

Errotorea n_2 abiaduran biratzen denez, errotorearen eremu birakaria estatorean finko dagoen begirale batekiko $n_2 + n_s$ abiaduran biratuko da, ondorioz:

$$n_1 = n_s + n_2 = n_1 - n_2 + n_2 \quad (3.7)$$

Errotoreak eta estatoreak sorturiko eremu magnetikoa n_1 sinkronismo-abiaduran biratuko da, errotorearen n_2 abiadura edozein izanda ere.

Eremu birakaria dela eta, estatorean fase bakoitzeko E_1 indar elektroeragilea sortuko da:

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot \phi_m \quad (3.8)$$

N_1 : estatoreko fase bakoitzeko serieko espira kopurua

f_1 : estatoreko elikadura-sarearen maiztasuna

f_m : estatorearen eta errotorearen elkarrekiko fluxu sinusoidala

Elkarrekiko fluxu sinusoidalak faseko tentsio bat sortuko du errotorean:

$$E_1 = 4,44 \cdot f_s \cdot N_2 \cdot \phi_m = 4,44 \cdot s \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot \phi_m$$

Motorraren abio-unean, errotorea geldirik dago; hau da, korrante gabe: $n_2 = 0$. Kasu horretan, irristadura unitarioa izango da, $s = 1$, eta ondorioz $f_s = f_1$. Errotorean fase bakoitzean induzituriko indar elektroeragileak hauek izanik:

$$E_s (s = 1) = N_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot \phi_m \quad (3.9)$$

Ondorioz, errotorea biratzen ari delarik, hau beteko da beti:

$$E_s = s \cdot E_2 \quad (3.10)$$

E_s indar elektroeragile horiek errotorearen fase bakoitzean aplikatzen dira.

Errotorearen faseek R_2 erresistentzia eta X_s erreaktantzia izango dituzte:

$$X_s = 2\pi \cdot f_1 \cdot L_2 = 2\pi \cdot s \cdot f_1 \cdot L_2 = s \cdot X_2 \quad (3.11)$$

X_2 estatoreko f_1 maiztasunera erreferentziaturiko errotorearen erreaktantzia izanik.

Errotorearen fase bakoitzeko korronea:

$$I_s = \frac{E_s}{\sqrt{R_2^2 + (2\pi \cdot f_s \cdot L_2)^2}} = \frac{E_2 \cdot s}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2 \cdot s^2}} = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}} = I_2 \quad (3.12)$$

$$\frac{R_2}{s} = R_2 + R_2 \cdot \left(\frac{1-s}{s}\right) = R_2 + R_k \quad (3.13)$$

2.13 ekuazioan, R_2 fase bakoitzeko erresistentzia eta R_k errotorearen mugimenduaren eragina adierazten duen asmaturiko karga baten erresistentzia izanik.

Errotoreko fase bakoitzeko korronea I_2 izenarekin izendatuko da, tentsioa eta erreaktantzia f_1 maiztasunari loturik daudelako.

Motorraren funtzionamenduari dagokionez, estatorea f_1 maiztasuneko U_1 balio efikazeko tentsio trifasiko altxatutako elikatzen da. Fase bakoitzeko espiretatik I_1 korronea igaroko da, eta E_1 indar elektroeragilea indusituko da. Errotorea estatikoa dela jota, errotorean E_2 indar elektroeragilea indusituko da. Indar elektroeragile hori dela eta, errotoreko fase bakoitzetik E_2 , R_2 , X_2 eta R_k aldagaien mende dagoen I_2 korronea igaroko da. Magnitude guztiak f_1 maiztasunarekin erreferentziaturik daude.

3.3.2. MOTOR ASINKRONOAREN EREDUA

Motor asinkronoaren erredua aztertzerakoan, erregimen iraunkorreko eta iragankorreko funtzionamenduak kontuan izan behar dira.

Erregimen iraunkorreko erredua karga-funtzionamendua, pareta, galerak eta errendimendua aztertzeko egokia da, baina zenbait funtzionamendu-egoeratan erregimen iraunkorreko erredua ez da nahikoa izaten. Motorraren karga-aldaketak direla-eta, erregimen iraunkorreko erredua ez du motorraren dinamika deskribatzen; kasu horretan, makinaren erregimen iraunkorreko erredua zehaztea beharrezkoa da.

Erregimen iragankorreko erredua motorraren dinamika deskribatu behar duenez, denboran eta kargan makinaren aldaketak kontuan izan behar ditu, eta ondorioz erregimen iraunkorreko erredua baino konplexuagoa da.

Adibidez, serbomekanismo baten portaera aztertzerakoan, portaera hori zehaztasun osoz islatzen duen erredua behar da. Makinaren erregimen iraunkorreko erreduekin ezinezkoa litzateke, erabiltzen diren kontrolek ez baitute kontuan hartzen makinaren erantzun dinamikoa. Hori dela eta, eredu dinamikoak erabiltzea beharrezkoa da.

a. Erregimen iraunkorreko erredua

Eredua deskribatu aurretik, kontsiderazio hauek aipatu behar dira:

Errotoreko eta estatoreko indar magnetoeragileak konbinatu ahal izateko, harildurak eraikitzean polo kopuru berak sortzeko moduan jokatu da.

Ez da beharrezkoa errotoreko eta estatoreko faseen kopurua berdina izatea.

Errotore harilkatuko motorretan ohikoa fase kopuruak: $m_2 = m_1 = 3$ izatea da.

Urtxintxa-kaiolako motorretan, errotorean B barra zirkuitulaburrean daude. Beraz:

$$m_2 = B/2p$$

errotoreko m_2 fasea, bakoitza espira bakar batez osaturik dagoena.

Urtxintxa-kaiolako motorretan, polo kopurua estatoreko harilkadurak finkatuko du.

Oro har joko da:

m_1 faseko estatorea, N_1 espira faseko, eta K_1 -eko harilketa-faktorea.

m_2 faseko errotorea, N_2 espira faseko, eta K_2 -ko harilketa-faktorea.

Errotorea geldirik dagoenean (errotorea zabalik, korrante gabe)

$$n = 0, \quad s = 1, \quad f_2 = f_1$$

Faseko i.e.e.-ak errotorean eta estatorean:

$$E_2 = 4,44 K_2 f_1 N_2 \phi_m \quad (3.14)$$

$$E_1 = 4,44 K_1 f_1 N_1 \phi_m \quad (3.15)$$

Errotorea biratzen ari denean n abiaduran eta s irristaduraz:

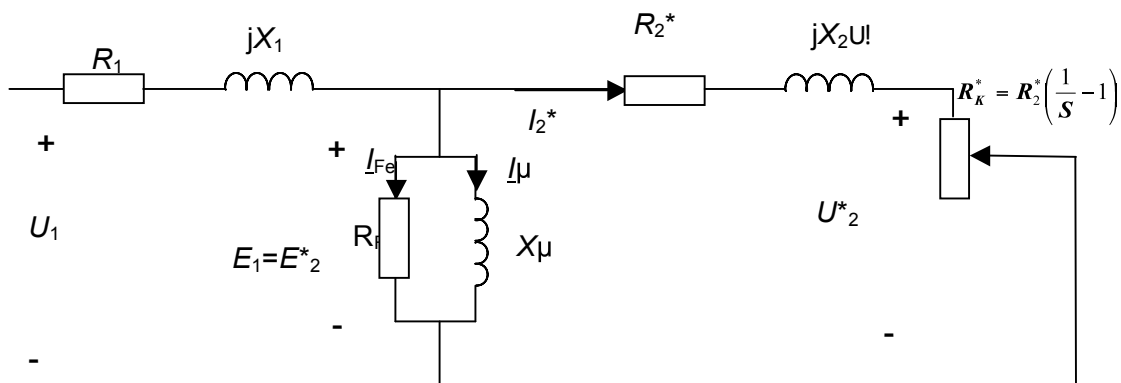
$$f_2 = s f_1 \quad (3.16)$$

i.e.e.-ak errotorean eta estatorean faseko:

$$E_{2s} = 4,44 K_2 f_2 N_2 \phi_m = s E_2 \quad (3.17)$$

$$E_1 = 4,44 K_1 f_1 N_1 \phi_m \quad (3.15)$$

3.4 irudian erregimen iraunkorreko motor asinkronoaren zirkuitu monofasiko baliokidea ageri da.



3.4. IRUDIA

Motor asinkronoaren zirkuitu monofasiko baliokidea

Non,

- R_1 estatoreko erresistentzia
- X_1 estatoreko sakabanatze-erreaktantzia
- R_2^* estatorera ekarritako errore-erresistentzia
- X_2^* estatorera ekarritako erroreko sakabanatze-erreaktantzia
- R_{Fe} burdina-galeren erresistentzia
- X_μ magnetizazio-erreaktantzia
- U_1 elikadura-tentsioa.
- E_2^* estatorera ekarritako errorean induzituriko indar elektroeragilea
- I_2^* estatorera ekarritako erroreko korronea
- I_{fe} burdina-galeren korronea
- I_μ korrone magnetizatzailea
- R_K^* estatorera ekarritako karga-erresistentzia

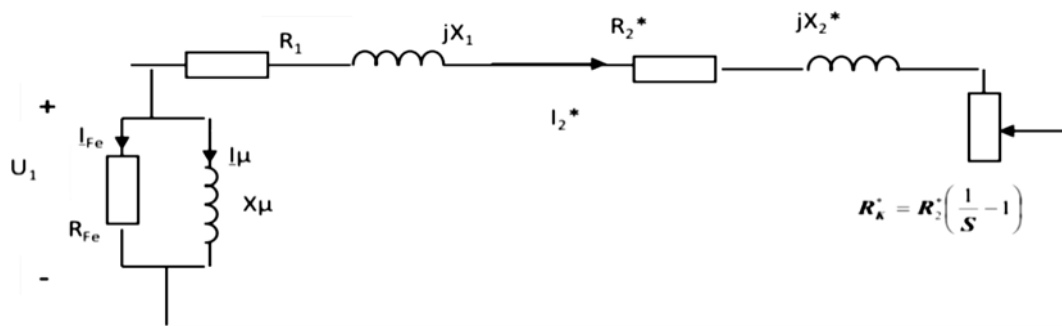
Errorea estatorera ekartzea:

- $N_2, N'_2 = N_1$ -ekin ordezkatzean.
- i.e.e.-ak eta tentsioak ($\cdot m$): $E'_2 = E_2 m = E_1$
- korroneak ($1/m$): $I'_2 = I_2/m$
- inpedantziak (m^2): $R'_2 = R_2 m^2$

Errore baliokide batera igaro behar da: geldi-egoera eta estatorera ekarrita.

Errore baliokidea: m_2^*, N_2^* eta $E_2^*, I_2^*, R_2^*, X_2^*$

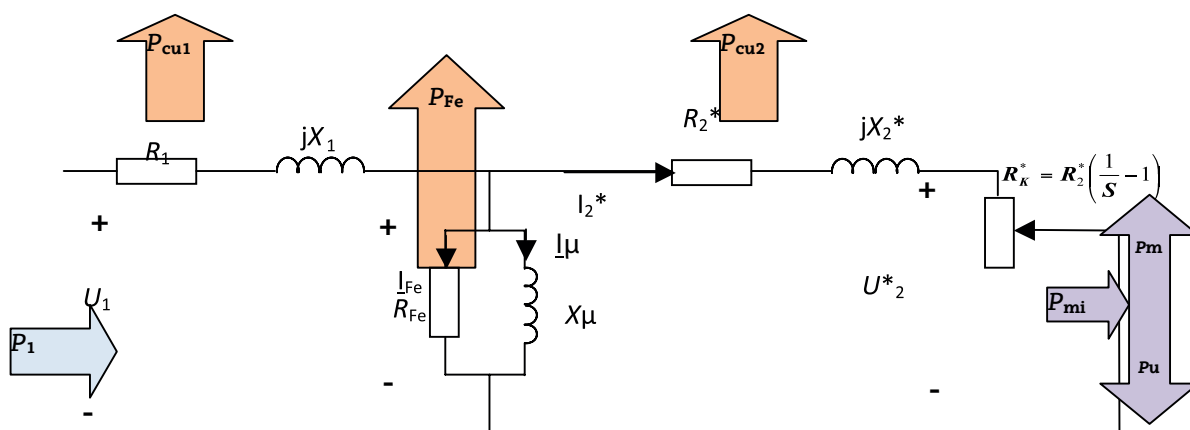
Non $m_2^* = m_1, N_2^* = N_1$



3.5. IRUDIA

Motor asinkronoaren zirkuitu monofasiko baliokide hurbildua
POTENTZIA

Motor asinkronoan gertatzen den potentzia-banaketa 3.6. irudian duzu.



3.6. IRUDIA

Motor asinkronoaren potentzia monofasiko baliokidea

— Saretik xurgatutako potentzia:

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad (3.16)$$

— Estatoreko galerak kobreak eta burdinan:

$$p_{cu1} = m_1 R_1 I_1^2 \quad (3.17)$$

$$P_{Fe1}$$

$$P_{estatore} = p_{Fe1} + p_{cu1} \quad (3.18)$$

— Errotorean $f_2 = sf_1$, ohiko funtzionamenduan $s \gg \%5$, $f_2 = 0,05 \cdot 50 = 2,5$ Hz, eta, beraz, erro-
reko p_{Fe} baztergarriak

$$p_{Fe} = p_{Fe1} = m_1 E_1 I_{Fe1} \approx m_1 U_1 I_{Fe} \quad (3.19)$$

— Errotorera burdinartean zehar heldutako potentzia elektromagnetikoa P_a :

$$P_a = P_1 - p_{est} = P_1 - p_{cu1} - p_{Fe} \quad (3.20)$$

— Errotorean:

$$p_{cu2} = m_2 R_2 I_2^2 = m_2' R_2' I_2'^2 \quad (3.21)$$

— Mekanikoa bihurtuko den potentzia, P_{mi} :

$$P_{mi} = P_a - p_{cu2} \quad (3.22)$$

$$P_{mi} = m_1 R_c I_2'^2 = m_1 R_2' \left(\frac{1}{s} - 1 \right) I_2'^2 \quad (3.23)$$

— Potentzia erabilgarria:

$$P_u = P_{mi} - P_m \quad (3.24)$$

— Errendimendua:

$$\eta = \frac{P_u}{P_1} = \frac{P_u}{P_u + p_m + p_{cu2} + p_{cu1} + p_{Fe}} \quad (3.25)$$

— Erlazio erabilgarriak:

$$\frac{p_{cu2}}{P_{mi}} = \frac{m_1 R_2' I_2'^2}{m_1 R_2' \left(\frac{1}{s} - 1 \right) I_2'^2} = \frac{s}{1-s} \quad (3.26)$$

$$p_{cu2} = s P_a \quad (3.27)$$

$$P_a = P_{mi} + p_{cu2} = \frac{m_1 R_2' I_2'^2}{s} = \frac{p_{cu2}}{s} = \frac{P_{mi}}{1-s} \quad (3.28)$$

PAREA

$$P_u = T_u \omega \quad (3.29)$$

$$P_{mi} = T_i \omega \quad (3.30)$$

$$T_u = \frac{P_u}{\frac{2\pi n}{60}} \quad (3.31)$$

$$T_i = \frac{P_{mi}}{\frac{2\pi n}{60}} \quad (3.32)$$

– p_m -ak bazterturik; $P_u = P_{mi}$ eta $T_u = T_i = T$

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \approx 0 \quad n = n_1(1-s) \quad T = \frac{P_{mi}}{\frac{2\pi n_1(1-s)}{60}} = \frac{P_a}{\frac{2\pi n_1}{60}} = \frac{P_a}{\omega_1}$$

$$P_{mi} = P_a - p_{cu2} = P_a - sP_a = (1-s)P_a$$

$$P_{mi} = T\omega$$

$$P_a = T\omega_1$$

$$T = \frac{P_a}{\omega_1} = \frac{P_{mi}}{\omega}$$

$$T = \frac{P_a}{\omega_1} = \frac{s}{\omega_1} = \frac{\frac{p_{cu2}}{s}}{\frac{2\pi n_1}{60}} = \frac{m_1 R'_2 I_2'^2}{60}$$

b. Erregimen iragankorreko eredia

Erregimen iragankorreko eredia makinaren portaera dinamikoa aztertzeke helburuarekin garratzen da.

Aztertuko den ereduak oinarrian daukan motor asinkronoan ondorengo zehaztapenak kontuan hartzen dira:

Estatoreko harilkadura fase bakoitzari dagokion hiru haril taldez osatzen da. Talde bakoitza a, b eta c izendatuko da, eta hala adieraziko da dagokion fase bakoitzean. a, b eta c harilkadurek 120 graduko angelua osatzen dute beren artean. Ohikoena harilkadura horiek berdina izatea da; hau da, erresistentzia berdina eta espira kopuru berdina edukitzea.

Estatoreko harilkaduraren antzekoa den harilkadura errotorean koka daiteke errotore harilkatuko motorra eraikiz. Bada beste modu bat, erabiliagoa dena: errotorea zirkuitulaburturiko aluminio-barrekin osatzea, urtxintxa-kaiolako motorra eraikitzeke.

Makinaren estatorea eta errotorea leunak direla onartzen da. Hau da, burdinarte konstantea.

Indukzio-makina trifasiko orekatu eta simetrikoa. Hau da, estatoreko harilak berdinak dira beren artean, eta errotoreko harilak ere bai.

Burdinaren portaera magnetiko lineala; ez dago burdina-asetzerik.

Burdinaren iragazkortasun magnetiko handia. Hau da, erreluktantzia magnetikoa baztergarria da, burdinarteko erreluktantziarekin konparaturik.

Burdinarteko eremuaren banaketa senoidala.

Estatoreko bektore espazialak:

Makina elektriko trifasiko baten espazio-bektoreak izaera desberdinetakoak izan daitezke, hau dela eta komenigarria da estatoreko espazio-bektore generiko bat definitzea:

$$\vec{X}_s = k(\vec{X}_a + \vec{X}_b + \vec{X}_c) \quad (3.33)$$

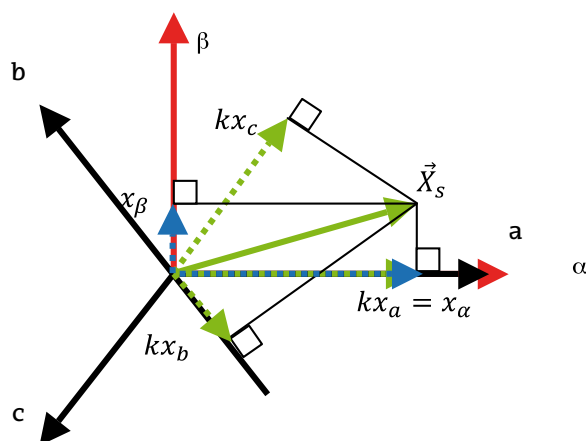
3.33. ekuazioan duzun espazio-bektoreak korronea, fluxua, tentsioa, etab., adieraz dezake. Ekuazioan ageri den k konstantearen balioa norberak aukeratzen du. Egile batzuk $2/3$ balioa erabiltzen dute eta beste batzuk $\sqrt{2/3}$; lehenengo aukerak anplitudean aldatzen ez diren espazio-bektoreak ematen ditu eta bigarrenak potentzian aldatzen ez diren espazio-bektoreak.

Espazio-bektoreak hiru hariko sistema trifasiko batenak direla onartzen bada:

$$0 = \vec{X}_a + \vec{X}_b + \vec{X}_c \quad (3.34)$$

Espazio-bektoreak egonkortzat jotzen den, hau da estatoreari loturikoa, plano konplexu batean irudika daitezke a eta b koordinatu kartesian (ikus 3.7. irudia). 3.35. ekuazioan adierazten den moduan, estatoreko espazio-bektorea a eta b koordinatu kartesian atal erreal eta irudikarien funtzioan adieraz daiteke.

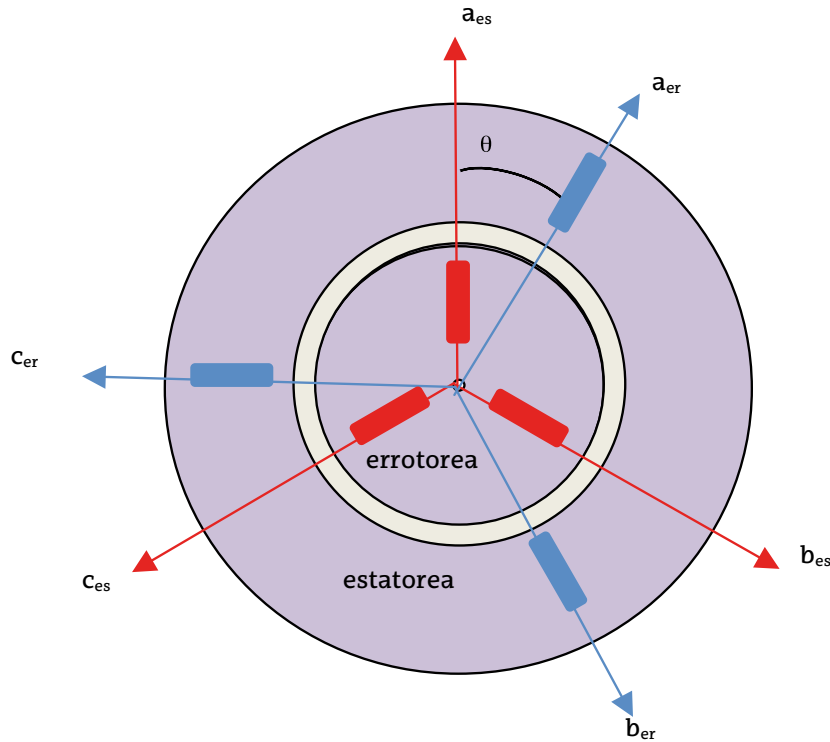
$$\vec{X}_s = x_\alpha + jx_\beta \quad (3.35)$$



3.7. IRUDIA

Bektore espaziala eta bere osagaiak plano konplexuan

3.8. irudian, estatore eta errotore trifasikoak dituen indukzio-makina baten oinarrizko eskema ageri da. Industrian ohikoena estatorean trifasikoak diren makinak erabiltzea denez, garatuko den erdua estatorean eta errotorean trifasikoa den makinaren erdua izango da.



3.8. IRUDIA

Motor asinkronoaren estatoreko eta errotoreko harilkaduren diagrama

Aurreko zehaztapenak eta 3.8. irudiko diagramatik abiatuz indukzio-makina trifasiko baten erduaren ekuazio dinamikoa honako hauek izango dira:

Estatoreko fase bakoitzeko aldiuneko fluxuaren eta estatoreko fluxuaren bektore espazialetik abiatuz:

$$\bar{\phi}_s = \phi_{as} + \underline{a}\phi_{bs} + \underline{a}^2\phi_{cs} \quad (3.36)$$

Ekuazioaren eskuineko atalak fase bakoitzak gehitzen duen fluxua adierazten du; ondorioz, ϕ fluxu-bektorea fisikoki makinaren estatoreko fluxuaren banaketa senoidalaren noranzkoa eta magnitudea ageri dituen espazio-bektore baten tankeran interpretatzen da. Bektore horrek konkatena-zio-fluxu bat eta banaketa-fluxu bat ditu osagai. Era berean, errotoreko fluxuaren ekuazioa adierazten da:

$$\bar{\phi}_r = \phi_{ar} + \underline{a}\phi_{br} + \underline{a}^2\phi_{cr} \quad (3.37)$$

u_{as} , u_{bs} eta u_{cs} estatoreko linearen eta neutroaren arteko uneko tentsioak izanik:

$$u_{as} = R_s \cdot i_{as} + \frac{d\phi_{as}}{dt} \quad (3.38)$$

$$u_{bs} = R_s \cdot i_{bs} + \frac{d\phi_{bs}}{dt} \quad (3.39)$$

$$u_{cs} = R_s \cdot i_{cs} + \frac{d\phi_{cs}}{dt} \quad (3.40)$$

Non R_s estatoreko faseko erresistentzia baita eta f_{as} , f_{bs} eta f_{cs} estatoreko fase bakoitzeko uneko fluxuak.

Estatoreko tentsioaren espazio-bektorea:

$$\bar{u}_s = u_{as} + \underline{a}u_{bs} + \underline{a}^2u_{cs} \quad (3.41)$$

Tentsio-ekuazioak ekuazio bektorial bakar batean konbina daitezke, eta hala estatoreko tentsioaren 3.42 ekuazioko adierazpena lortu.

$$\bar{u}_s = R_s \cdot \bar{i}_s + \frac{d\bar{\phi}_s}{dt} \quad (3.42)$$

Errotoreko tentsioei dagokienez:

$$u_{ar} = R_r \cdot i_{ar} + \frac{d\phi_{ar}}{dt} = 0 \quad (3.43)$$

$$u_{br} = R_r \cdot i_{br} + \frac{d\phi_{br}}{dt} = 0 \quad (3.44)$$

$$u_{cr} = R_r \cdot i_{cr} + \frac{d\phi_{cr}}{dt} = 0 \quad (3.45)$$

Non R_r errotoreko faseko erresistentzia baita.

Tentsio-ekuazioak ekuazio bektorial bakar batean konbina daitezke, eta errotoreko tentsioaren 3.46 ekuazioko adierazpena lortu.

$$0 = R_r \cdot \bar{i}_r + \frac{d\bar{\phi}_r}{dt} \quad (3.46)$$

Estatoreko koordinatuko estatoreko fluxua bektorialki adieraz daiteke, estatoreko induktantzia (L_s) eta elkarrekiko induktantzia (M) 3.47 ekuazioan adierazten den legez, honako hau kontuan izanik:

$$\bar{\phi}_s = L_s \cdot \bar{i}_s + M \cdot \bar{i}_r \cdot e^{j\epsilon} \quad (3.47)$$

Era berean, errotorearentzat:

$$\bar{\phi}_r = L_r \cdot \bar{i}_r + M \cdot \bar{i}_s \cdot e^{-j\epsilon} \quad (3.48)$$

e: estatorearekin loturiko ardatz finkoak errotorearen ardatzarekin osatzen duen angelua

Ekuazioak zirkuitu baliokide bifasikoan oinarrituz planteatzen dira, baina makina trifasikotik zuzenean ere lor daitezke. Fluxuaren ekuazioan, $e^{j\epsilon}$ atalak adierazten du errotorearen korrante-bektorea erreferentzia egonkorra pasatu dela. Modu berean, $e^{-j\epsilon}$ bektore birakaria erabil daiteke estatoreko korrantearen bektorea errotoreko koordinatuetara aldatzeko. Estatoreko eta errotoreko harilkatuek buelta kopuru berdina baldin badaukate, estatoreko sakabanatze-koefizientea (σ_s) eta errotorekoa (σ_r) ekuazio hauen bidez adierazten dira:

$$L_s = (1 + \sigma_s) M \quad (3.49)$$

$$L_r = (1 + \sigma_r) M \quad (3.50)$$

Gutzizko sakabanatze-koefizientea:

$$\sigma = 1 - \frac{1}{(1 + \sigma_s)(1 + \sigma_r)} \quad (3.51)$$

3.42 ekuazioan 3.47 ekuazioa ordezkatzuz eta 3.46 ekuazioan 3.48 ekuazioa ordezkatzuz:

$$\bar{u}_s = R_s \cdot \bar{i}_s + L_s \frac{d\bar{i}_s}{dt} + M \frac{d}{dt} [\bar{i}_r \cdot e^{j\epsilon}]$$

$$0 = R_r \cdot \bar{i}_r + L_r \frac{d\bar{i}_r}{dt} + M \frac{d}{dt} [\bar{i}_s \cdot e^{-j\epsilon}]$$

Tentsioen ekuazio orokor horiei pare elektromagnetikoaren ekuazioa gehitzen zaie. Pare elektromagnetikoaren ekuazioa errotoreko harilkatuan estatoreko indar magnetoeragileak sorturiko eremu magnetiko birakariak sorturiko indar tangenziala kontuan hartuta lortzen da. Parea \bar{i}_r eta \bar{i}_s korranteen biderkadura bektorialarekiko proportzionala da errefe-

rentzia-eremu komun batean, eta modu horretan emaitza errotoreko korrante-bektorearen eta estatoreko korrante-bektorearen arteko angeluaren sinuarekiko proportzionala izango da (**polo biko** makina bat dela jota).

Estatoreko koordenatuetako parearen ekuazio orokorra:

$$T = \frac{2}{3} M \cdot \text{Im} \left[\vec{i}_s \left[\vec{i}_r \cdot e^{j\epsilon} \right]^* \right] \quad (3.52)$$

Non Im -k kako zuzenen arteko atalaren atal irudikaria adierazten baitu eta \vec{i}^* \vec{i} bektorearen konplexu konjugatua baita. Errotorearen korrante-bektorea $e^{j\epsilon}$ atalaz biderkatzen da, eta atal horrek estatoreko eremuarekin erreferentziaturik dagoela adierazten du.

T_L karga-parea izanik eta J motorraren eta kargaren inertzia:

$$J \frac{d\omega_n}{dt} = T - T_L = \frac{2}{3} M \cdot \text{Im} \left[\vec{i}_s \left[\vec{i}_r \cdot e^{j\epsilon} \right]^* \right] - T_L \quad (3.53)$$

Errotoreko abiadura angeluarra:

$$\omega_n = \frac{d\epsilon}{dt} \quad (3.54)$$

Laburtuz:

$$\vec{u}_s = R_s \cdot \vec{i}_s + L_s \cdot \frac{d\vec{i}_s}{dt} + M \cdot \frac{d\vec{i}_r \cdot e^{j\epsilon}}{dt}$$

$$\vec{u}_r = R_r \cdot \vec{i}_r + L_r \cdot \frac{d\vec{i}_r}{dt} + M \cdot \frac{d\vec{i}_r \cdot e^{-j\epsilon}}{dt} \Rightarrow \vec{u}_r = 0 \quad \text{urtxintxa - kaiola errotorea}$$

$$T = k \cdot M \cdot \text{Im} \left\{ \vec{i}_s \cdot \left(\vec{i}_r \cdot e^{j\epsilon} \right)^* \right\}$$

$$T - T_L = J \cdot \frac{d\Omega}{dt}$$

$$\Omega = \frac{\omega_n}{p} = \frac{1}{p} \cdot \frac{d\epsilon}{dt}$$

k -ren balioa hautaturiko fasore espazialaren funtzioan egongo da.

Makinaren eredu dinamikoaren ebazpenean dq edo ab transformazioak lagungarri izan daitezke.

Bektore espazialak eta dq ardatz-transformazioa erabiliz, sistema trifasiko bat bere sistema bifasiko baliokidea bihur daiteke, beraren aldagaiak konstanteak izanik. Hau da, erreferentzia-sistema trifasiko bat (a, b, c) sistema bifasiko bihur daiteke.

Motor asinkronoaren kasuan, erreferentzia-sistema trifasikoa (a, b, c) sistema bifasiko egonkorra bihur daiteke Clarke transformazioa erabiliz, edo sistema bifasiko birakarian edo errotorekoan Park transformazioa erabiliz.

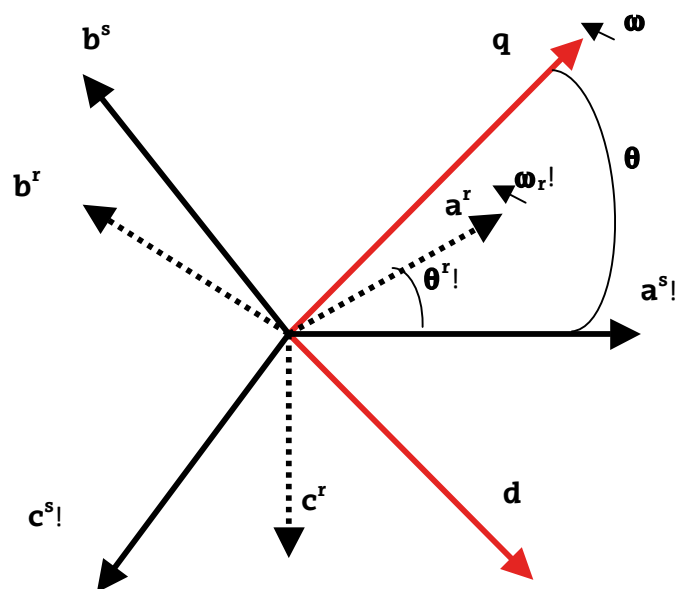
Matlabeko Simulink erabiliz erreferentzia-sistemako aldaketa posibleak hauek dira:

- errotorekoa edo Park transformazioa
- egonkorra edo Clarke transformazioa
- sinkronikoa

Simulazioak egitean, erreferentzia-sistemaren hautaketak eragina izango du dq aldagai guztietan, eta kasu batzuetan simulazioaren abiadura eta zehaztasunean ere bai. Irizpide hauek kontuan hartzea gomendatzen da:

- Errotoreko erreferentzia edo Park transformazioa erabili, errotoreko tentsioak orekatuak ez direnean eta estatorekoak orekatuak direnean.
- Erreferentzia egonkorra erabili, estatoreko tentsioak orekatuak ez direnean eta errotorekoak orekatuak direnean.
- Tentsio guztiak orekatuak eta etendura gabekoak direnean erreferentzia egonkorra edo sinkronikoa erabili.

3.9. irudian abc sistema trifasiko baten eta qd0 erreferentzia-sistema baten arteko erlazioaren grafikoa erakusten da.



3.9. IRUDIA

abc eta qd0 erreferentzia-sistemen arteko erlazioaren diagrama

Kontuan izan behar da hautaturiko transformazioa egonkorra den edo ez den: $w = 0$ (egonkorra) edo $w = w_e$ (sinkronikoki birakaria).

Hori kontuan izanik makinaren tentsio- eta pare-ekuazioetan qd erreferentzia-transformazioa aplikatzen da. Ekuazioen transformazioa 3.55 bidez adierazten da:

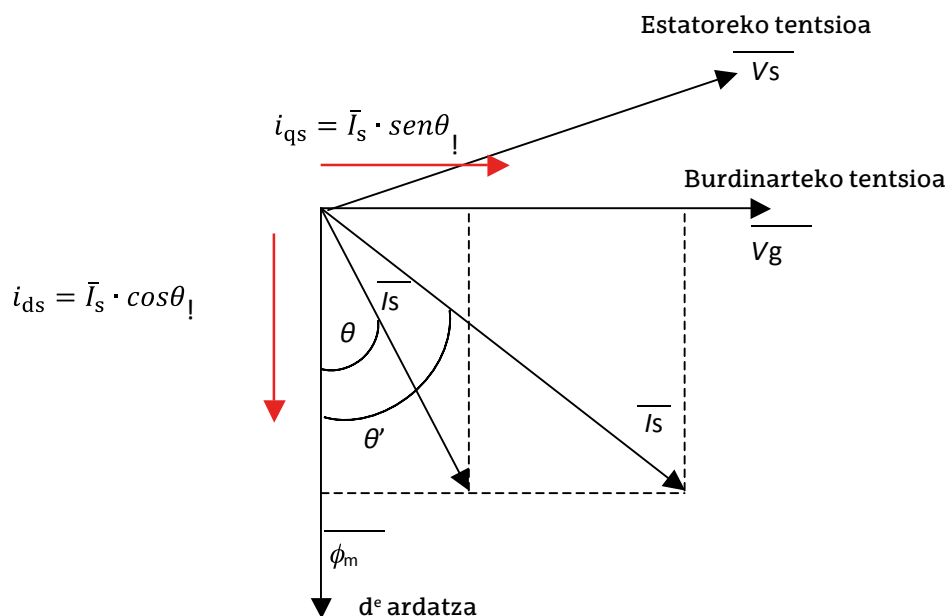
$$\begin{bmatrix} f_q \\ f_d \\ f_0 \end{bmatrix} = [T_{qd0}(\vartheta)] \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} \quad (3.55)$$

Non f aldagaiak tentsioak, korrronteak edo makinaren fluxuak adierazten baititu. Eta T_{qd0} edo Park transformazioa (3.56):

$$T_{qd0} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta-120^\circ) & \cos(\theta+120^\circ) \\ \sin\theta & \sin(\theta-120^\circ) & \sin(\theta+120^\circ) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (3.56)$$

Estatorearen ardatz finkodun a, b eta c faseen harilkadura errealak irudizko q eta d harilkadura birekin ordezkatzten dira, eta haien ardatz magnetikoak eremu birakariaren w_e abiaduran mugitzen dira (sinkronismo-abiaduran mugitzen den errore batean egongo balira bezala)

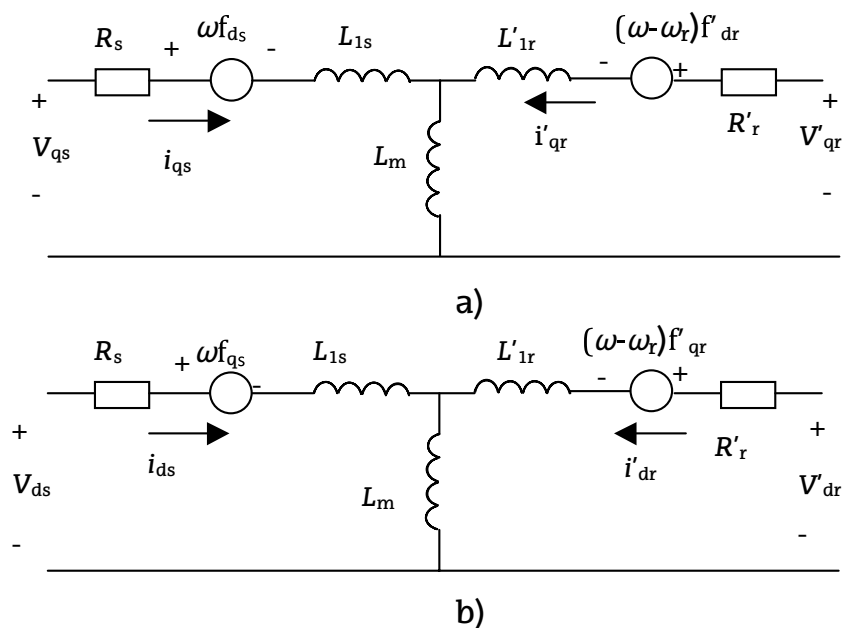
3.10 irudian dq0 erreferentzia-sistemarekin erreferentziaturiko korrronteak irudikatzen dira.



3.10. IRUDIA

Estatoreko korrnteearen fasore-diagrama dq0 erreferentzia-sisteman

3.11 irudian, dq_0 erreferentzia-sistema $\omega = \omega_e$ (sinkronikoki birakaria) den kasuaren zirkuitu baliokidea ageri da, eta dagozkion ekuazioak:



3.11. IRUDIA

Zirkuitu baliokidea: a) q ardatza, b) d ardatza

$$V_{qs} = R_s i_{qs} + d\phi_{qs}/dt + \omega \phi_{ds} \quad (3.57)$$

$$V'_{qr} = R'_r i'_{qr} + d\phi'_{qr}/dt + (\omega - \omega_r) \phi'_{dr} \quad (3.58)$$

$$V_{ds} = R_s i_{ds} + d\phi_{ds}/dt - \omega \phi_{qs} \quad (3.59)$$

$$V'_{dr} = R'_r i'_{dr} + d\phi'_{dr}/dt - (\omega - \omega_r) \phi'_{qr} \quad (3.60)$$

$$\phi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr} \quad (3.61)$$

$$\phi'_{qr} = L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs} \quad (3.62)$$

$$\phi_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i'_{dr} \quad (3.63)$$

$$\phi'_{dr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds} \quad (3.64)$$

$$L_s = L_{1s} + L_m \quad (3.65)$$

$$L'_r = L'_{1r} + L_m \quad (3.66)$$

$$T_e = 1.5p(\phi_{ds} i_{qs} - \phi_{qs} i_{ds}) \quad (3.67)$$

ω — erreferentziaren abiadura angeluarra

ω_r —abiadura angeluar elektrikoa

Azpiindizeak eta definizioak:

d: d ardatzari dagokion kantitatea

q: q ardatzari dagokion kantitatea

r: errotoreari dagokion kantitatea

s: estatoreari dagokion kantitatea

l: galera-harila

m: magnetizazio-harila

I. taula

Zirkuitu baliokidearen parametro eta definizioak

PARAMETROA	DEFINIZIOA
R_s, L_{ls}	Estatoreko erresistentzia eta galera-induktantzia
R'_r, L'_{lr}	Errotoreko erresistentzia eta galera-induktantzia
L_m	Magnetizazio-induktantzia
L_s, L'_r	Estatoreko eta errotoreko inductantziak
V_{qs}, i_{qs}	q ardatzeko estatoreko tentsio eta korronea
V'_{qr}, i'_{qr}	q ardatzeko errotoreko tentsio eta korronea
V_{ds}, i_{ds}	d ardatzeko estatoreko tentsio eta korronea
V'_{dr}, i'_{dr}	d ardatzeko errotoreko tentsio eta korronea
V_{ds}, i_{ds}	d ardatzeko estatoreko tentsio eta korronea
f_{qs}, f_{ds}	Estatoreko q eta d ardatzetako fluxuak
f'_{qr}, f'_{dr}	Errotoreko q eta d ardatzetako fluxuak
w_m	Errotoreko abiadura angeluarra
q_m	Errotoreko posizio angeluarra
p	Polo pare kopurua
w_r	Abiadura angeluar elektrikoa ($w_m * p$)
q_r	Errotoreko posizio angeluar elektrikoa ($q_m * p$)
T_e	Pare elektromagnetikoa
T_m	Ardatzeko pare mekanikoa
J	Errotore eta karga konbinazioko inertzia-koefizientea
H	Errotore eta karga konbinazioko inertzia-konstantea
F	Errotore eta karga biskositateko marruskadura-koefizientea

Hautaturiko transformazioa egonkorra denean, $w = 0$ (egonkorra) aplikatu behar da.

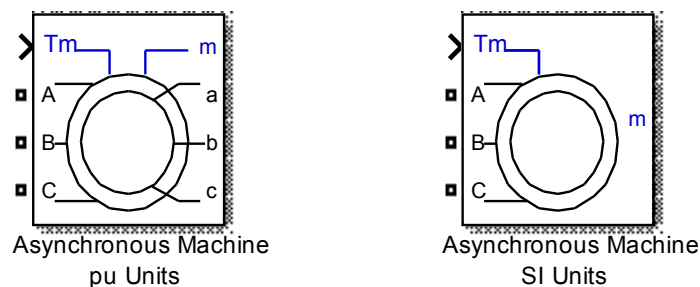
3.4. SIMULINK BLOKEA

Makina asinkronoaren blokeak motor eran edo sorgailu eran funtziona dezake.

Funtzionamendu era pare mekanikoaren zeinuak adieraziko du.

T_m positiboa denean, makinak motor eran lan egingo du.

T_m negatiboa denean, makinak sorgailu eran lan egingo du.



3.12. IRUDIA

Makina asinkronoaren blokeak Simulink-en

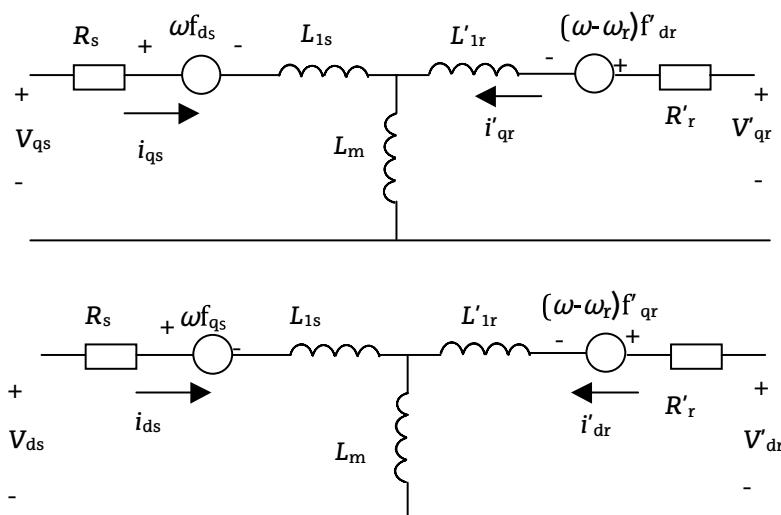
Makinaren atal elektrikoa laugarren mailako egoera-eredu baten bidez irudikatzen da, eta atal mekanikoa bigarren mailako baten bidez.

Aldagai elektriko eta parametro guztiak estatorera ekarrita daude, ondorengo ataleko ekuazioetan adierazten den moduan.

Estatoreko eta errotoreko balioentzat, ardatz biko erreferentzia erabiltzen da (dq).

3.4.1. Parametroak

Sistema elektrikoa



3.13. IRUDIA

Makina asinkronoaren sistema elektrikoa Simulink-en.

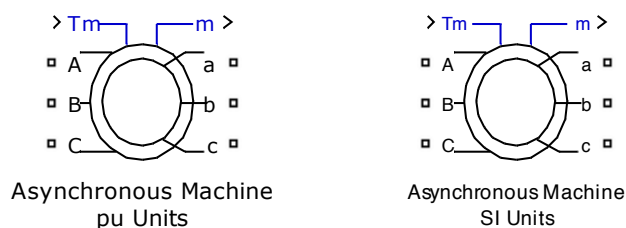
Sistema mekanikoa

$$\frac{d}{dt}\omega_m = \frac{1}{2H}(T_e - F\omega_m - T_m) \quad (3.68)$$

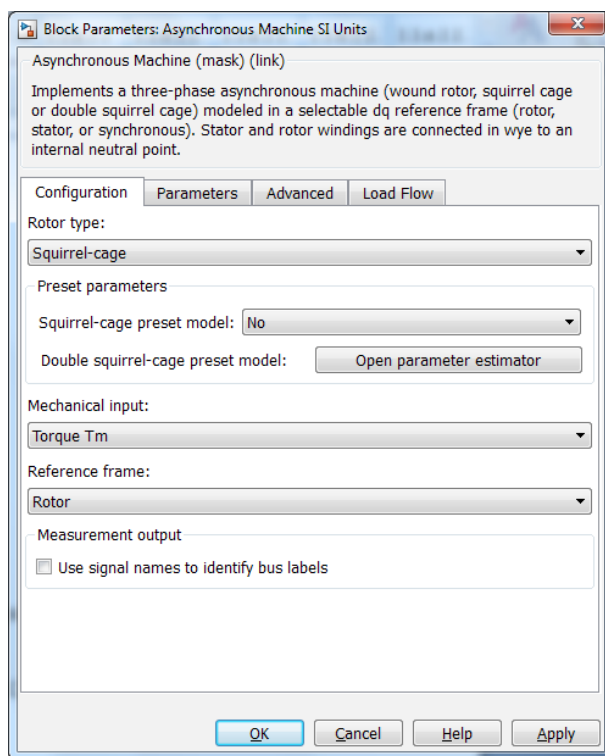
$$\frac{d}{dt}\theta_m = \omega_m \quad (3.69)$$

3.4.2. Blokearen deskribapena

Makina asinkronoko bloke bi erabil daitezke modeloaren parametro elektriko eta mekanikoak adierazteko: pu Units edo SI



3.14. IRUDIA

Makina asinkronoaren blokeak Simulink-en

3.15. IRUDIA

Urtxintxa-kaiolako erroto redun makina asinkronoaren blokearen parametroak Simulink-en

Blokearen parametroetan lau aukera daude: Configuration, Parameters, Advanced eta Load Flow

Configuration

ROTOR TYPE

Errotore motak eskaintzen ditu: errotore harilkatua, urtxintxa-kaiolako errotorea, urtxintxa-kaiolako errotore bikoitza.

SQUIRREL-CAGE PRESET MODEL

Potentzia (HP), fase-tentsio (V) eta maiztasun (Hz) ezberdineko makinentzat lehenetsitako parametro elektriko eta mekanikoak eskaintzen ditu.

Lehenetsitako eredurik ez bada erabili behar, “No” Aukeratu.

Lehenetsitako eredu bat aukeratzean, Parameters ataleko parametro elektriko eta mekanikoak aldaezinak bihurtzen dira.

Lehenetsitako eredu batetik abiatzeko eta ondoren makinaren balioak aldatzeko, ondorengo egin behar da:

1. Aukeratu lehenetsitako eredu parametroak hasieratzeko.
2. Aldatu “Preset model” balioa: No. Eragiketa horrek ez ditu makinaren parametroak aldatuko. Hala, lehenetsitako ereduarekiko konexioa bertan behera uzten da.
3. Aldatu makinaren parametroak, eta ondoren: “Apply”.

MECHANICAL INPUT

Ardatzean aplikaturiko pare, errotorearen abiadura edo Simulink-ek bloke-sarreran aplikatzen duen seinalea aukeratzeko modua ematen du.

Torque Tm: sarrera-pare bat zehazteko aukeratu; Nm edo pu, eta T_m bloke-sarrerako etiketa aldatuko da. Inertzia, J , (edo H inertzia-konstantea) eta aplikaturiko pare mekaniko eta barne pare elektromagnetikoren arteko kenketa eginez ($T_m - T_e$) makinaren abiadura zehazten da. Pare mekanikoaren zeinu-konbentzioa hau da: abiadura positiboa denean, pare positiboko seinaleak motor era adierazten du, eta seinale negatiboak sorgailu era.

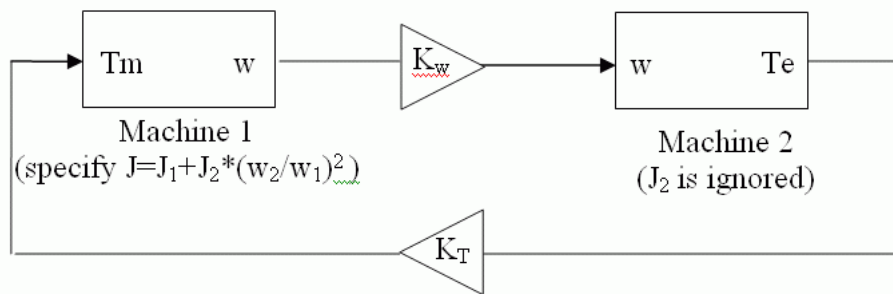
Speed w: sarrera-abiadura rad/s edo pu izan dadin, blokearen sarrera etiketa aldatuko da. Kasu horretan makinaren abiadura nagusitzen da, eta atal mekanikoa (J inertzia) baztertzen da. Sarrera moduan abiadura erabiltzeak bi makinaren arteko akoplamendu mekanikoa ahalbidetzen du, bai eta SimMechanics eta SimDriveline ereduaren arteko interkonexioa ere.

3.16. irudian motor-sorgailu talde batean ardatz zurruneko interkonexio baten ereduak erakusten da 2. makinan marruskadura-pare baztertzen denean.

Makinaren (motorraren) irteera-abiadura 2. makinaren (sorgailua) sarrera-abiadurara konektatzen da. T_e 2. makinaren irteera-pare elektromagnetikoa 1. makinaren sarreran aplikatzen da, T_m sarrerako pare mekanikoan.

K_w faktoreak makina bien abiadura unitateak hartzen ditu kontuan (PG edo rad/s), baita engranaje-kutxaren erlazioa (w_2/w_1) ere. KT faktoreak makina bien momentuaren unitateak hartzen ditu kontuan (pu edo Nm), eta makinaren potentzia.

2. makinan J_2 inertzia baztertzen denez eta J_2 1. makinara mugatu denez, 1. makinari J_1 inertzia gehitu behar zaio.

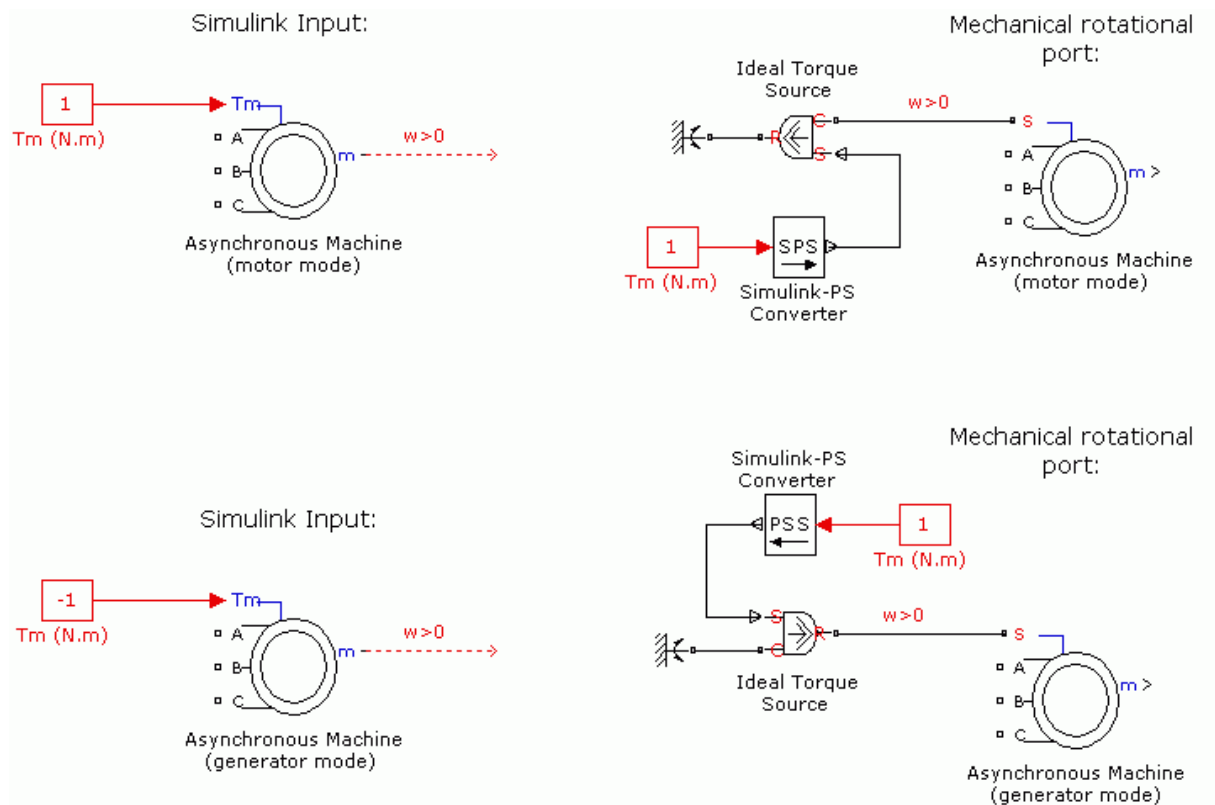


3.16. IRUDIA

Motor-sorgailu talde batean ardatz zurrunezko interkonexio baten eredu

Mechanical rotational port: aukera hau beste bloke batzuekin lotura mekanikoa ezartzeko erabiliko da.

Irudian Simulink-eko adibide batzuk erakusten dira.



3.17. IRUDIA

Mechanical rotational port: adibideak.

ROTOR TYPE

Errotore harilkatua edo urtxintxa-errotorea aukeratzeko.

REFERENCE FRAME

Sarrera-tentsioak (abc) dq erreferentziara pasatzeko eta irteera-korronteak (dq) abc erreferentziara pasatzeko erabiliko den erreferentzia-sistema zehazten du. Aukera hauek daude:

- Errotorea: Park transformazioa
- Stationary: Clarke transformazioa
- Sinkronoa

Erlazio hauetan, fase-fase tentsioetan aplikaturiko transformazioak adierazten dira:

$$\begin{bmatrix} V_{qs} \\ V_{ds} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 \cos \theta & \cos \theta + \sqrt{3} \sin \theta \\ 2 \sin \theta & \sin \theta - \sqrt{3} \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{abs} \\ V_{bcs} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V'_{qs} \\ V'_{ds} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 \cos \beta & \cos \beta + \sqrt{3} \sin \beta \\ 2 \sin \beta & \sin \beta - \sqrt{3} \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V'_{abs} \\ V'_{bcs} \end{bmatrix}$$

Aurreko ekuazioetan, q erreferentziako posizio angeluarra da, eta $b\beta = q - q_r$ errotorearen posizio elektrikoaren eta erreferentzia-posizioaren arteko aldea.

Makinaren harilkadurak Y konexioan daudela jorik, ez dago osagai homopolarrik. Horrek sarrerako linea-linea tentsio biak ereduaren barnean erabiltzea justifikatzen du, hiru linea eta neutroa erabili beharrean.

Adierazpen hauek makina asinkronoaren fase-korronteetan aplikaturiko dq erreferentziatik abc erreferentziarako aldaketak deskribatzen dituzte:

$$\begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ \frac{-\cos \theta + \sqrt{3} \sin \theta}{2} & \frac{-\sqrt{3} \cos \theta - \sin \theta}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i'_{ar} \\ i'_{br} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta \\ \frac{-\cos \beta + \sqrt{3} \sin \beta}{2} & \frac{-\sqrt{3} \cos \beta - \sin \beta}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i'_{qr} \\ i'_{dr} \end{bmatrix}$$

$$i_{cs} = -i_{as} - i_{bs}$$

$$i'_{cr} = -i'_{ar} - i'_{br}$$

q erreferentziako posizio angeluarra eta $b\beta = q - q_r$ errotorearen posizio elektrikoaren eta erreferentzia-posizioaren arteko aldea izanik, II. taulan q eta $b\beta$ balioak adierazten dira erreferentzia bakoitzaren kasuan (q_e errotazio sinkronoko erreferentziaren posizioa da).

II. taula

Erreferentzia bakoitzeko q eta b balioak

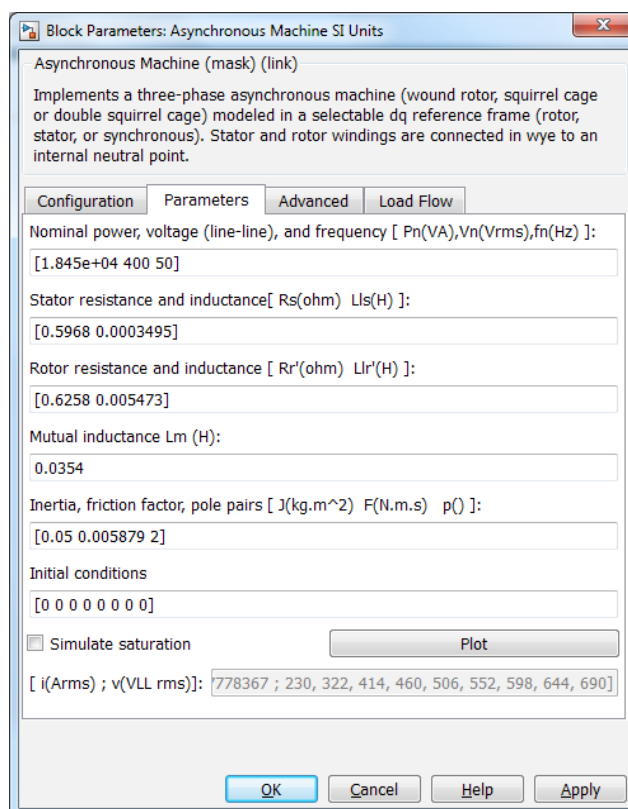
Erreferentzia	θ	βb
Errotorea	θ	0
Egonkorra	0	$-\theta_r$
Sinkronoa	θ_e	$\theta_e - \theta_r$

MASK UNITS

Ereduren parametroen unitate elektriko eta mekanikoak adierazten ditu. Parametro hau ezin da aldatu.

Parameters

Makinaren parametro elektrikoak adierazten dituen elkarriketa-koadroa.



3.18. IRUDIA

Parametro elektrikoaren atala

NOMINAL POWER, VOLTAGE (LINE-LINE), AND FREQUENCY

Itxurako potentzia izendatua: P_n (VA); RMS tentsio konposatua (linea-linea tentsioa): V_n (V), eta maiztasuna: f_n (Hz).

STATOR RESISTANCE AND INDUCTANCE

Estatoreko erresistentzia: R_s (Ω W edo pu), eta galera-induktantzia: L_s (H edo pu).

ROTOR RESISTANCE AND INDUCTANCE

R_r ' errotoreko erresistentzia (W edo pu), eta L_r ' galera-induktantzia (H edo pu), biak erroterra mugatuta.

MUTUAL INDUCTANCE

Magnetizazio-induktantzia: L_m (H edo pu).

INERTIA CONSTANT, FRICTION FACTOR, AND POLE PAIRS

- SI unitateak aukeratzen direnean: J karga eta makinako inertzia-koefizientea ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$), F biskositateko marruskadura-koefizientea ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$), eta p polo pare kopurua. T_f marruskadura-parea errotoreko abisadurarekiko proportzionala da: $w(T_f = F\cdot w)$.
- Pu unitateak aukeratzen direnean: H inertzia-konstantea (s), F biskositateko marruskadura-koefizientea (pu), eta polo-pare kopurua.

INITIAL CONDITIONS

s hasierako irristadura, e angelu elektrikoa (gradutan), estatoreko korrante-magnitudea (A edo pu), eta fase-angeluak (gradutan).

[irristadura, angelu elektrikoa, i_{as} , i_{bs} , i_{cs} , phase_{as}, phase_{bs}, phase_{cs}]

Errotore harilkatuko makinaren kasuan, errotoreko korrantearentzako (A edo pu) eta fase-angeluentzako (graduak) hasierako balioak zehaztu daitezke.

[irristaketa, angelu elektrikoa, i_{as} , i_{bs} , i_{cs} , phase_{as}, phase_{bs}, phase_{cs}, i_{ar} , i_{br} , i_{cr} , phase_{ar}, phase_{br}, phase_{cr}]

Urtxintxa-kaiolako errotoreko makinaren kasuan, hasierako baldintzak Powergui blokearen load flow atala erabiliz kalkula daitezke.

SIMULATE SATURATION

Errotoreko eta estatoreko burdinaren asetasun magnetikoa simulatzeko edo ez.

SATURATION PARAMETERS

Karga gabeko asetasun-kurbaren parametroak adierazten ditu. Errotoreko eta estatoreko burdinaren asetasun magnetikoa (elkarrekiko fluxuaren asetasuna) modelizatzen da funtzio ez-lineal batekin (kasu honetan polinomikoa), karga gabeko asetasun-kurbaren puntuak erabiliz.

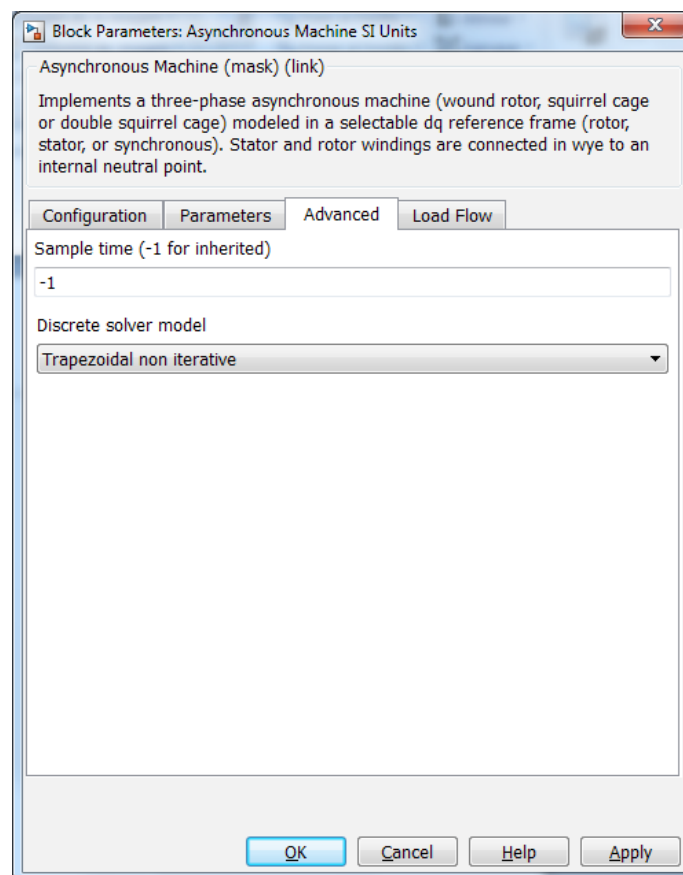
2xn matrizea erabil daiteke, non n asetasun-kurbatik harturiko puntu kopurua baita. Matrizearen lehenengo lerroak estatoreko korronteen balioak izango ditu, eta bigarren lerroak estatoreko tentsioak. Lehenengo puntua asetasuna hasten den puntuarekin bat etorriko da.

Asetasuna simulatzeko Simulate saturation hautatu behar da. Ez bada hautatzen, estatoreko eta errotoreko korronteen arteko erlazioa lineala izango da.

Advanced

SAMPLE TIME (-1 FOR INHERITED)

Blokeak laginketarako erabiltzen duen denbora adierazten du. θ Powergui blokean zehazturiko denbora heredatzeko parametro honetan -1 balioa adierazi behar da.



3.19. IRUDIA

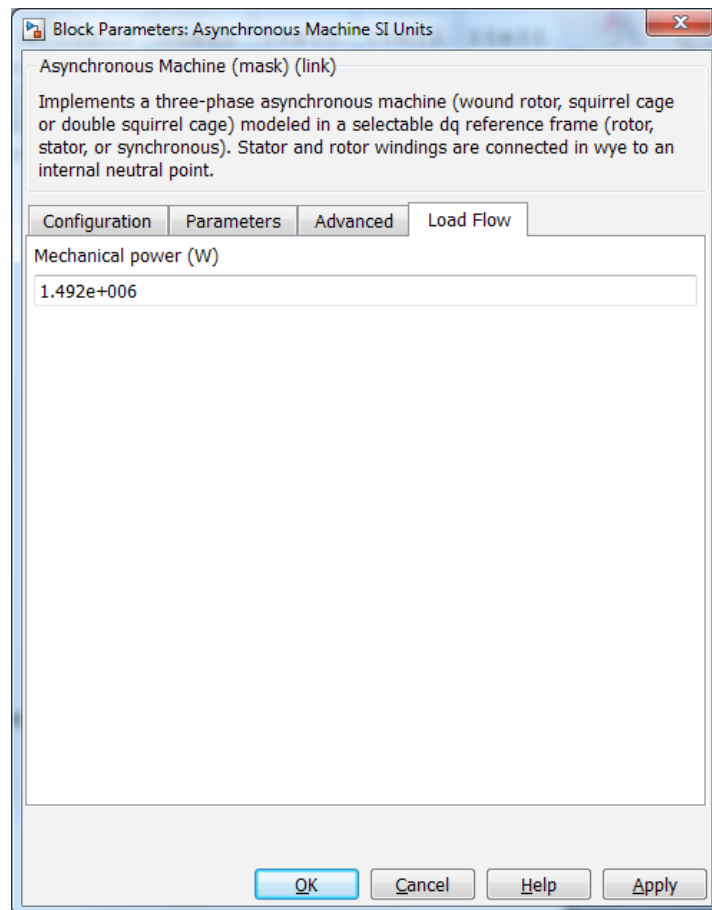
Parametro aurreratuak

Load flow

Eredua hasieratzean erabiltzen diren parametroak.

MECHANICAL POWER

Potentzia mekanikoa. Makina motor eran dagoenean positiboa, eta sorgailu eran negatiboa.



3.20. IRUDIA
Load Flow

3.4.3. Blokearen sarrerak eta irteerak

— T_m

Simulink blokearen sarrerako pare mekanikoa da, makinaren ardatzean. Sarrera-seinale positibo bat denean, makina asinkronoaren funtzionamendua motor erakoa izango da. Sarrera negatiboa denean, makina asinkronoaren funtzionamendua sorgailu erakoa izango da.

SI parametroak erabiltzen direnean, sarrera seinalea N.m-tan izango da, eta bestela pu-etan.

— w

Blokearen sarrera aldizkakoa (Mechanical input parametroen balioen mende). Makinaren abiadura da (rad/s).

— m

Simulink blokearen irteera; irteera hori 21 seinale dituen bektore bat da. “Bus Selector” blokea erabiliz seinale hori demultiplexa daiteke. Hautaturiko blokearen arabera unitateak SI edo pu izango dira. III. taulan, bektore horren seinale bakoitzaren definizio, unitate eta sinbologia adierazten dira

III. taula

Seinaleen definizio, unitate eta sinbologia

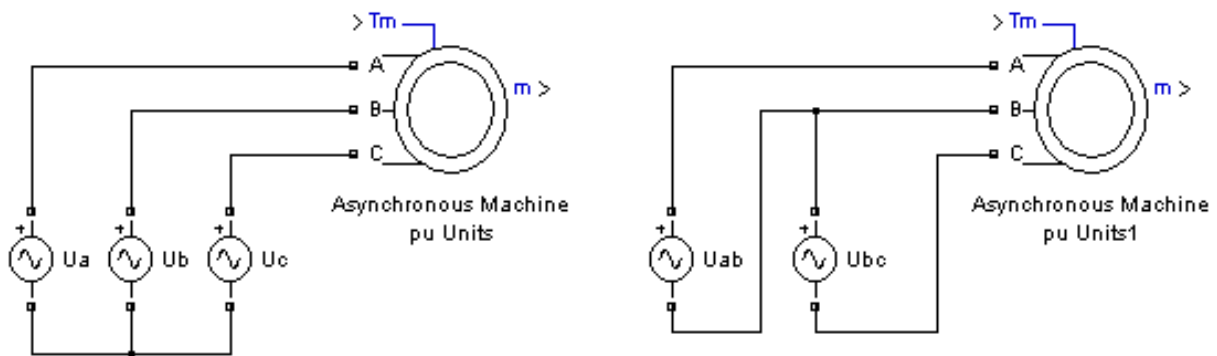
SEINALEA	DEFINIZIOA	UNITATEAK	SINBOLOGIA
1	Errotoreko korrontea: ir_a	A edo pu	i'_{ra}
2	Errotoreko korrontea: ir_b	A edo pu	i'_{rb}
3	Errotoreko korrontea: ir_c	A edo pu	i'_{rc}
4	Errotoreko korrontea: iq	A edo pu	i'_{qr}
5	Errotoreko korrontea: id	A edo pu	i'_{dr}
6	Errotoreko fluxua: phir_q	V.s edo pu	ϕ'_{qr}
7	Errotoreko fluxua: phir_d	V.s edo pu	ϕ'_{dr}
8	Errotoreko tentsioa: Vr_q	V edo pu	v'_{qr}
9	Errotoreko tentsioa: Vr_d	V edo pu	v'_{dr}
10	Urtxintxa-kaiola biko errotoreko korrontea: ir_a	A edo pu	i'_{ra2}
11	Urtxintxa-kaiola biko errotoreko korrontea: ir_b	A edo pu	i'_{rb2}
12	Urtxintxa-kaiola biko errotoreko korrontea: ir_c	A edo pu	i'_{rc2}
13	Urtxintxa-kaiola biko errotoreko korrontea: iq	A edo pu	i'_{qr2}
14	Urtxintxa-kaiola biko errotoreko korrontea: id	A edo pu	i'_{dr2}
15	Urtxintxa-kaiola biko errotoreko fluxua: phir_q	V.s edo pu	ϕ'_{qr2}
16	Urtxintxa-kaiola biko errotoreko fluxua: phir_d	V.s edo pu	ϕ'_{dr2}
17	Estatoreko korrontea: is_a	A edo pu	i_{sa}
18	Estatoreko korrontea: is_b	A edo pu	i_{sb}
19	Estatoreko korrontea: is_c	A edo pu	i_{sc}
20	Estatoreko korrontea: is_q	A edo pu	i_{qs}
21	Estatoreko korrontea: is_d	A edo pu	i_{ds}
22	Estatoreko fluxua: phis_q	V.s edo pu	ϕ_{qs}
23	Estatoreko fluxua: phis_d	V.s edo pu	ϕ_{ds}
24	Estatoreko tentsioa: vs_q	V edo pu	v_{qs}
25	Estatoreko tentsioa: vs_d	V edo pu	v_{ds}
26	Errotoreko abiadura	rad/s	ω_m
27	Pare elektromagnetikoa: Te	N.m edo pu	T_e
28	Errotoreko angelua	rad	Θ_m

3.4.4 Oharra

Makina asinkronoaren blokeak ez dauka galeraren edo ihes-fluxuen asetzaren adierazpenik. Kontuz makinaren estatorera sorgailu idealak konektatzean.

Estatorea izarrean konektaturiko tentsio infinituko sorgailu trifasiko batekin elikatzea erabakitzen bada, Y (izarrean) konektaturiko hiru sorgailu erabili behar dira.

Triangelu-konexio bat simulatzea erabakitzen bada, seriean konektaturiko sorgailu bi erabili behar dira.



3.21. IRUDIA

Asetzearen adierazpenik eza dela-eta kontuan izan beharreko konexioak.

Makina asinkronoen blokeak sistema diskretuetan erabiltzean, makinaren borneetan konektaturiko erresistentzia-karga parasito bat erabiltzea beharrezko izan daiteke, zenbakizko oszilazioak deuseztatzeko. Denbora luzeek karga altuagoak behar izaten dituzte. Erresistentzia-karga minimoa laginketa-denborarekiko proportzionala da. Arau moduan, gogoratu 60 Hz-eko sistema batean, pausoak 25 ms-koa izanik, karga minimoa, gutxi gorabehera, makinaren potentzia izendatuaren % 2,5 dela.

Adibidez, 200 MVA-ko makina asinkrono batek potentzia-sistema diskretu batean eta 50 ms-ko lagin batekin erresistentzia-kargaren % 5 behar du, edo 10 MW. Laginaren denbora 20 ms-ra murrizten bada, 4 MW-eko lagin batek nahikoa izan behar luke.

4.

Makina sinkronoa

4.1. DESKRIBAPENA

Makina sinkronoa edo sorgailua aztertuko da atal honetan.

Makina sinkronoa motor zein sorgailu eran aritu daiteke. Ohikoena sorgailu-funtzioa du; zentral ekoizleetan dauden makinak sinkronoak izaten dira (termikoetan, hidraulikoetan eta nuklearrretan). Makina mota horiei alternadore esaten zaie, sorgailu moduan lan egiten badute.

4.2. ALTERNADOREA

4.2.1. Deskribapena

Alternadorea energia mekanikoa energia elektriko bihurtzen duen makina sinkronoa da.

Makina birakari gehienen moduan, atal finkoa (estatorea) eta mugikorra (errotorea) ditu.

Estatorea: makina asinkronoak duenaren antzerakoa. Eskuarki induktorea osatzen duten hiru harilkatuak edukitzen ditu. Harilkatu horiek eremu magnetiko birakaria sortzekoak dira, eta tentsio trifasikoarekin elikatuta daude, alternadorea trifasikoa denean.

Errotorea: eskuarki induktore moduan jarduten duen eta fluxu magnetikoa sortzen duen kitzikapen-harilkadura bat edukitzen du. Korrante zuzenarekin elikatzen da. Itxuraren eta poloen arabera, errotore zilindrikoduna edo polo irtenduna izan daiteke. Korrante zuzeneko iturriaren eta zirkuitu induktorearen arteko konexio elektrikoa makinaren ardatzari loturiko bi eraztun marruskatzen dituzten eskuilen bidez egiten da.

Alternadore baten biraketa-abiadura makinaren polo kopuruak eta lortu nahi den maiztasunak baldintzatuko dute.

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (4.1)$$

Non:

- f : maiztasuna. (Hz)
- p : makinaren polo pareen kopurua.
- 60: konstante bat.
- n : abiadura (bira/min)

Baldin eta $f = 50$ Hz:

- $p = 4 \quad n = 750$ bira/ min
- $p = 2 \quad n = 1500$ bira/ min
- $p = 1 \quad n = 3000$ bira/ min

Polo pareen kopurua konstantea da, eta behin makina eraiki ondoren ezin da aldatu. Beraz, maiztasunaren balioa finko mantentzeko, abiadura erregulatu beharko da.

Alternadoreak kitzikapen independentekoak edo autokitzikatuak izan daitezke. Makinaren inductorea elikatzeko k.z. behar da: kitzikapena.

Kitzikapen independentekoak: alternadoretik kanpoko iturri batetik lortzen da beharrezko den korrante zuzena.

Autokitzikatuak: alternadoreak bere borneetatik hartzen du beharrezko duen kitzikapen-korrantea. Alternadoreak sortzen duen korrantea alternoa izanik eta kitzikapenerako beharrezko korrantea zuzena denez, korrante alterno hori korrante zuzena bihurtzen da zubi-artezgailu baten bidez.

Makina sinkronoen abantailak:

Errendimendu oso altua daukate, eta potentzia-faktore erregulagarria.

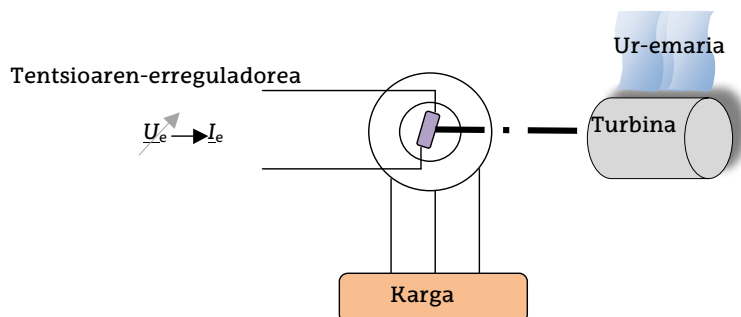
Makina sinkronoen eragozpenak:

Elikadura-iturri bi behar dituzte: korrante alternokoa eta korrante zuzenokoa.

Korrante alternoko sorgailuaren elikadura-abiadura aldatzen ez den bitartean, maiztasuna konstantea da.

Motor eran erabiltzen direnean, makina ezin da laguntza barik abiarazi. Askotan asinkrono moduan abiarazten da, baina, horretarako, errotoreak pieza polarretan zirkuitulaburrean ipinitako zirkuitu berezi bat izan behar du; urtxintxa-kaiola moduko harilkatuak dira. Bestela, motor primario batekin abiaraziko da, laborategian egingo dugun moduan.

Sare isolatuan: beste sorgailuren batekin loturik ez dagoenean



4.1. IRUDIA

Alternadorea sare isolatuan

4.2.2. Alternadorearen eredia

Alternadorearen eredia taxutzeko, hipotesi hauek onartzen dira:

Errotoreko eta estatoreko gainazalen arteko burdinartekoa makinaren diametroarekin konparatuta baztergarria da.

Zirkuitu magnetikoetako asetzea, histeresia, Foucault galera-korronteak eta makinaren muturretako eremu magnetikoaren sakabanaketak baztertzen dira. Makinaren sekzio guztiak berdinak direla onartzea dakar horrek.

Airearen iragazkortasun magnetikoa burdinarenarekiko baztergarria da, eta esan daiteke burdinarenak infiniturantz jotzen duela.

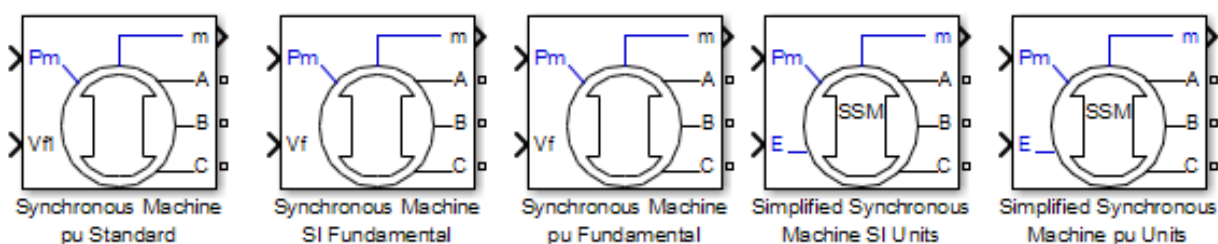
Makinaren dimentsioekin konparatuta eroaleen sekzioak baztergarriak direla jotzen da, eta horiek makinaren ardatz axialarekiko paraleloak direla, noranzko erradialean tarterik bete barik. Horrek makinaren artekatzea baztertzen dela esan nahi du.

Aurreko paragrafoetako hipotesi guztiak onartzean, makina “makina ideal” moduan onartzen da.

4.3. SIMULINK BLOKEA

Makina sinkronoaren bost bloke erabil daitezke ereduaren parametro elektriko eta mekanikoak adierazteko:

- a1) Synchronous Machine SI Fundamental
- a2) Synchronous Machine pu Fundamental
- b1) Simplified Synchronous Machine SI Units
- b2) Simplified Synchronous Machine pu Units
- c) Synchronous Machine pu Standard

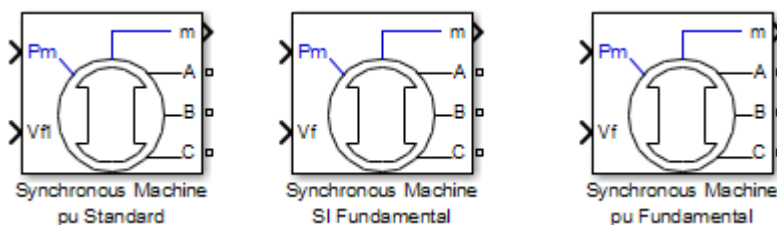


4.2. IRUDIA

Simulink-eko makina sinkronoaren ereduak

4.3.1. Synchronous Machine blokearen deskribapena

Errotore leuneko edo polo irteneko makina simulatzen du.

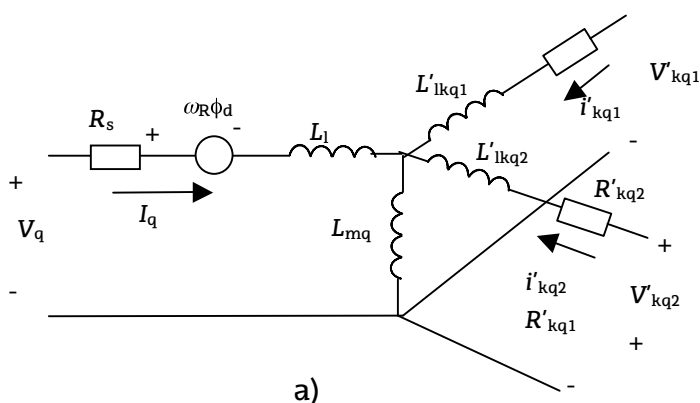


4.3. IRUDIA

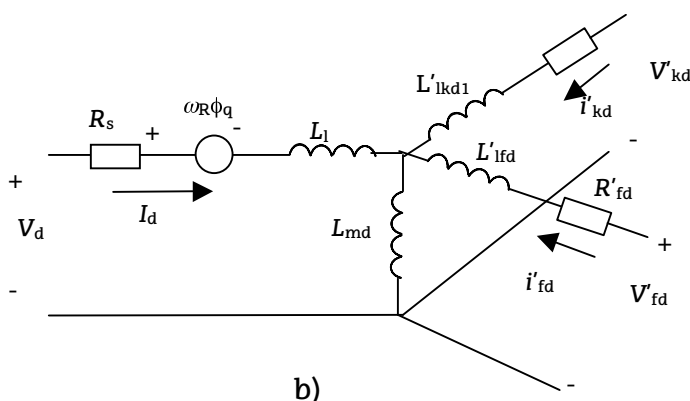
Simulink-eko Synchronous Machine eredua

Makina sinkronoaren blokeak sorgailu edo motor eran funtzionatzen du. Funtzionamendu modua potentzia mekanikoaren zeinuaren arabera izango da (positiboa sorgailuarentzat eta negatiboa motorarentzat). Makinaren atal elektrikoa egoera-espazioko seigarren mailako eredu batek adierazten du, eta atal mekanikoa makina sinkrono sinplifikatuaren berdina da.

Makinaren eredu elektrikoa 4.4 irudian duzue:



a)



b)

4.4. IRUDIA

Makina sinkronoaren eredu elektrikoa: a) q ardatza, b) d ardatza

4.4. irudiko eredu elektrikoari dagokion ekuazioak ondorengoak dira:

$$V_d = R_s i_d + d\phi f_d / dt + w_R f_q \quad (4.2)$$

$$V_q = R_s i_q + d\phi f_q / dt + w_R f \omega \phi_d \quad (4.3)$$

$$V'_{fd} = R'_{fd} i'_{fd} + d\phi f'_{fd} / dt \quad (4.4)$$

$$V'_{kd} = R'_{kd} i'_{kd} + d\phi f'_{kd} / dt \quad (4.5)$$

$$V'_{kq1} = R'_{kq1} i'_{kq1} + d\phi f'_{kq1} / dt \quad (4.6)$$

$$V'_{kq2} = R'_{kq2} i'_{kq2} + d\phi f'_{kq2} / dt \quad (4.7)$$

$$f_d = L_d i_d + L_{md} (i'_{fd} + i'_{kd}) \quad (4.8)$$

$$f_q = L_q i_q + L_{mq} i'_{kq} \quad (4.9)$$

$$\phi f'_{fd} = L'_{fd} i'_{fd} + L_{md} (i_d + i'_{kd}) \quad (4.10)$$

$$\phi f'_{kd} = L'_{kd} i'_{kd} + L_{md} (i_d + i'_{fd}) \quad (4.11)$$

$$\phi f'_{kq1} = L'_{kq1} i'_{kq1} + L_{mq} i_q \quad (4.12)$$

$$\phi f'_{kq2} = L'_{kq2} i'_{kq2} + L_{mq} i_q \quad (4.13)$$

Ereduak estatoreko harilkatuen, eremuaren eta motelgailuaren dinamika kontuan hartzen du. Ereduaren zirkuitu elektriko baliokidea errotorearekin erreferentziaturik adierazten da (qd ardatzetan).

Errotorearen parametro eta magnitude guztiak estatoretik ikusiak dira.

Azpiindizeen definizioa:

d: d ardatzari dagokion kantitatea

q: q ardatzari dagokion kantitatea

R: errotoreari dagokion kantitatea

s: estatoreareri dagokion kantitatea

l: galera-harila

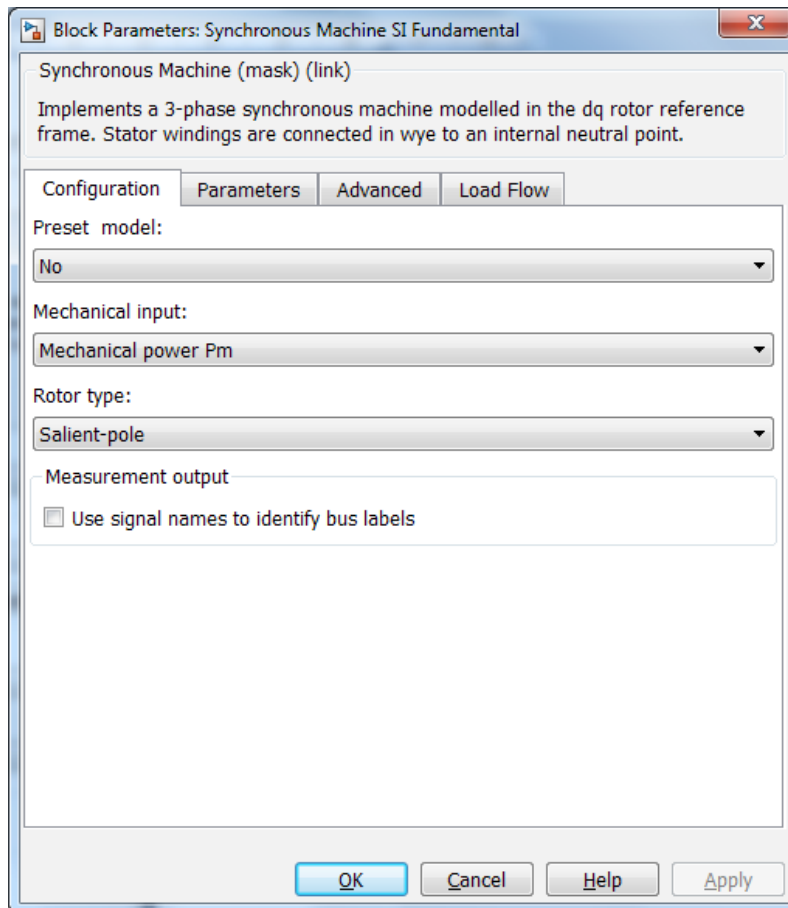
m: magnetizazio-harila

f: eremuari dagokion kantitatea

k: harilaren moteldura

4.4. irudiko ereduak estatoreko harilkatuetan dabilzan korronteak zenbatesten ditu. Neurturiko eta makina sinkronoaren blokeak bueltaturiko estatoreko korronteak (I_a, I_b, I_c, I_d, I_q) dira makinatik kanpo ateratzen direnak

Makina sinkronoaren oinarrizko blokeak makinaren oinarrizko parametroak zehazteko modua ematen du. Eremuaren eta harilkatuen moteldura-parametroak zehazten dira (erresistentziak, galera-harila eta elkarrekiko harila). Simulink-ek eskaintzen dituen hiru ereduak makina berdina ordezkatzeko dute, ezberdintasun bakarra parametroen balioak ezartzerakoan aurkituko duzue.



4.5. IRUDIA

Makina sinkronoaren blokearen parametroak Simulink-en

Blokearen parametroetan lau aukera daude: Configuration, Parameters, Advanced eta Load Flow

Configuration

PRESET MODEL

Potentzia (kVA), fase-tentsio (V), maiztasun (Hz) eta abiadura (rpm) ezberdineko makinentzat lehenetsitako parametro elektriko eta mekanikoak eskaintzen ditu.

Lehenetsitako eredurik ez bada erabili behar, “No” Aukeratu.

Lehenetsitako eredu bat aukeratzean, Parameters ataleko parametro elektriko eta mekanikoak aldaezinak bihurtzen dira.

Lehenetsitako eredu batetik abiatzeko eta ondoren makinaren balioak aldatzeko, ondorengo egin behar da:

1. Aukeratu lehenetsitako eredu parametroak hasieratzeko.
2. Aldatu "Preset model" balioa: No. Eragiketa horrek ez ditu makinaren parametroak aldatuko. Hala, lehenetsitako ereduarekiko konexioa bertan behera uzten da.
3. Aldatu makinaren parametroak, eta ondoren: "Apply".

MECHANICAL INPUT

Ardatzean aplikaturiko potentzi mekanikoa, errotorearen abiadura edo Simulink-ek bloke-sarreran aplikatzen duen seinalea aukeratzeko modua ematen du.

Mechanical power P_m : sarrera-potentzi bat zehazteko aukeratu; W edo pu, eta P_m bloke-sarrerako etiketa aldatuko da. Inertzia, J , (edo H inertzia-konstantea) eta aplikaturiko pare mekaniko eta barne pare elektromagnetikoren arteko kenketa eginez ($T_m - T_c$) makinaren abiadura zehazten da. Pare mekanikoaren zeinu-konbentzioa hau da: abiadura positiboa denean, potentzi mekaniko positiboko seinaleak sorgailu era adierazten du, eta seinale negatiboak motor era.

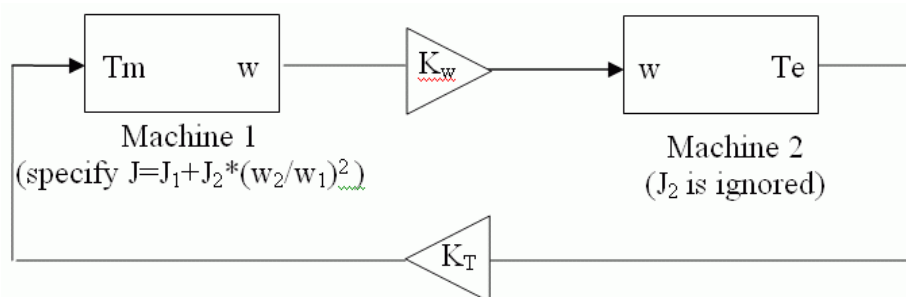
Speed w : sarrera-abiadura rad/s edo pu izan dadin, blokearen sarrera etiketa aldatuko da. Kasu horretan makinaren abiadura nagusitzen da, eta atal mekanikoa (H inertzia) baztertzen da. Sarrera moduan abiadura erabiltzeak bi makinaren arteko akoplamendu mekanikoa ahalbidetzen du.

4.6. irudian motor-sorgailu talde batean ardatz zurruneko interkonexio baten ereduak erakusten da makina biak sinkronoak direnean.

1. makinaren (motorraren) irteera-abiadura 2. makinaren (sorgailua) sarrera-abiadurara konektatzen da. T_c 2. makinaren irteera-pare elektromagnetikoa 1. makinaren sarreran aplikatzen da, T_m sarrerako pare mekanikoan.

1. makinaren sarrera-potentzi mekanikoa $P_m = T_m * w$. K_w faktoreak makina bien abiadura unitateak hartzen ditu kontuan (pu edo rad/s), baita engranaje-kutxaren erlazioa (w_2/w_1) ere. K_T faktoreak makina bien momentuaren unitateak hartzen ditu kontuan (pu edo Nm), eta makinaren potentzia.

2. makinan J_2 inertzia baztertzen denez eta J_2 1. makinara mugatu denez, 1. makinari J_1 inertzia gehitu behar zaio.

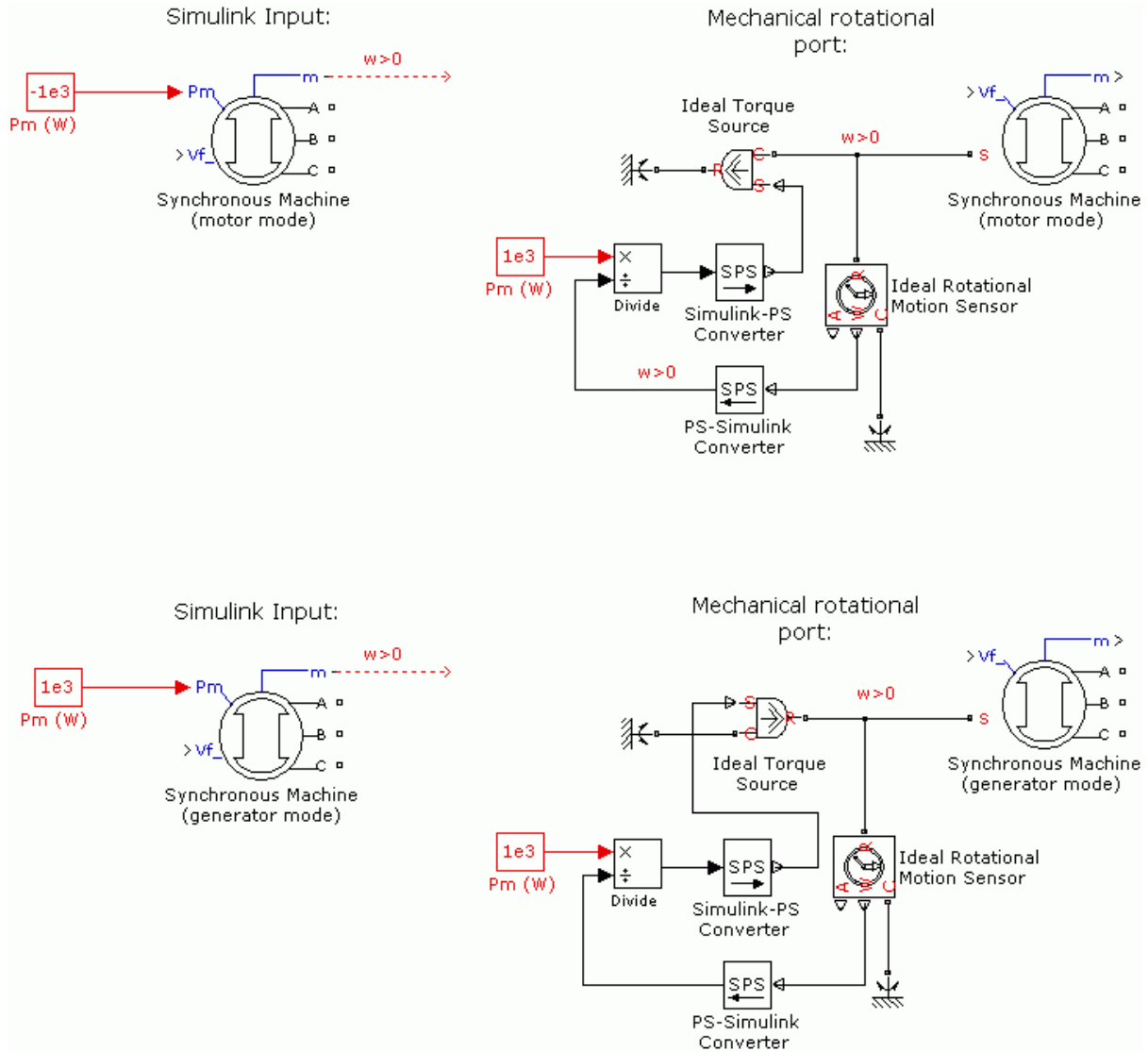


4.6. IRUDIA

Motor-sorgailu talde batean ardatz zurruneko interkonexio baten ereduak

Mechanical rotational port: aukera hau beste bloke batzuekin lotura mekanikoa ezartzeko erabiliko da.

Irudian Simulink-eko adibide batzuk erakusten dira.



4.7. IRUDIA

Makina asinkronoaren Mechanical rotational port adibideak

ROTOR TYPE

Polo irteneko errorea edo errore-zilindrikoa. Aukera honek q-ardatzeko errore zirkuitu kopuruan eragiten du.

USE SIGNAL NAMES TO IDENTIFY BUS LABELS

Bus-etiketak identifikatzeko aukera ematen du

Parameters

Makinaren parametro elektrikoak adierazten dituen elkarriketa-koadroa.

Block Parameters: Synchronous Machine SI Fundamental

Synchronous Machine (mask) (link)

Implements a 3-phase synchronous machine modelled in the dq rotor reference frame. Stator windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced Load Flow

Nominal power, voltage, frequency, field current [Pn(VA) Vn(Vrms) fn(Hz) ifn(A)]:
[187E6 13800 60 1087]

Stator [Rs(ohm) Ll,Lmd,Lmq(H)]:
[2.9069E-03 3.0892E-04 3.2164E-03 9.7153E-04]

Field [Rf'(ohm) Lfld'(H)]:
[5.9013E-04 3.0712E-04]

Dampers [Rkd',Llkd' Rkq1',Llkq1'] (R=ohm,L=H):
[1.1900E-02 4.9076E-04 2.0081E-02 1.0365E-03]

Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]:
[3.895e6 0 20]

Initial conditions [dw(%) th(deg) ia,ib,ic(A) pha,phb,phc(deg) Vf(V)]:
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 70.3192]

Simulate saturation Plot

[ifd(A) ; Vt(VLL rms)]: 660,10623,12243,13063,13757,14437,15180,15890,16567]

OK Cancel Help Apply

4.8. IRUDIA

Parametro elektrikoien atala

NOMINAL POWER, VOLTAGE, FREQUENCY AND FIELD CURRENT

Itxurako potentzia trifasiko izendatua: P_n (VA); RMS tentsio konposatua (linea-linea tentsioa): V_n (V), maiztasuna: f_n (Hz) eta eremu korrontea i_{fn} (A).

Eremu korronte izendatua karga gabeko baldintzetan tentsio izendatua sortzen duen korrontea da. Makinaren modeloa balio guztiak estatoretik ikusita garatzen da. Eremu korrote izendatuak makinaren transformazio erlazioa kalkulatzeko balio du, eta honela aplikatzen den tentsioa errotetik ikusitako tentsioa izanik. Eta eremu korrontea (irteera bektoreekoa) ere errotetik ikusitakoa izatea.

Eremu korronte izendatuaren balioa ez bada ezagutzen bere atalean 0 idazten da edo ezer idatzi gabe utzi. Kasu honetan ez dagoenez aukerarik transformazio erlazioa zehazteko aplikaturiko tentsioa eta eremu korrontea (irteera bektoreekoa) estatoretik ikusitakoak izango dira.

STATOR

Estatoreko erresistentzia: R_s (Ω W), galera-induktantzia: L_{ls} (H), eta d-ardatzeko eta q-ardatzeko magnetizazio-induktantziak L_{md} (H) eta L_{mq} (H).

FIELD

R'_f eremu erresistentzia (W), eta L'_{fd} galera-induktantzia (H), biak estatorera mugatuta.

DAMPERS

d-ardatzeko R'_{kd} (W) erresistentzia eta galera-induktantzia L'_{lkd} (H), q-ardatzeko R'_{kq1} (W) erresistentzia eta galera-induktantzia L'_{lkq1} (H), eta errore zilindrokoaren kasuan q-ardatzeko R'_{kq2} erresistentzia (W) eta galera-induktantzia L'_{lkq2} (H). Balio guztiak estatoretik ikusita

INERTIA, FRICTION FACTOR, AND POLE PAIRS

J inertzia-koefizientea (kg.m^2), F biskositateko marruskadura-koefizientea (N.m.s), eta p polo pare kopurua. T_f marruskadura-parea erroreko abiadurarekiko proportzionala da: $w(T_f = F.w)$.

INITIAL-CONDITIONS

Hasierako abiaduraren ezberdintasuna abiadura izendatuarekiko (%), errorearen angelu elektrikoa (gradutan), lineako korronteen magnitudeak: i_a, i_b, i_c (A) eta korronteen fase-angeluak (gradutan), eta hasierako eremu-tentsioa V_f (V). Balio hauek automatikoko ipini daitezke Load Flow atala erabiliz.

SIMULATE SATURATION

Erroreko eta estatoreko burdinaren asetasun magnetikoa simulatzeko edo ez.

[IFD; VT]

Karga gabeko asetasun-kurbaren parametroak adierazten ditu. Erroreko eta estatoreko burdinaren asetasun magnetikoa (elkarrekiko fluxuaren asetasuna) modelizatzen da funtzio ez-lineal batekin (kasu honetan polinomikoa), karga gabeko asetasun-kurbaren puntuak erabiliz.

Matrizearen lehenengo lerroak eremu korronteen balioak izango ditu, eta bigarren lerroak tentsioak. Lehenengo puntua, [0,0]-ren ezberdina izan behar da eta asetasuna hasten den puntuarekin bat etorriko da.

Asetasuna simulatzeko Simulate saturation hautatu behar da. Ez bada hautatzen, estatoreko eta erroreko korronteen arteko erlazioa lineala izango da.

Advanced

DISPLAY NOMINAL FIELD CURRENT AND VOLTAGE PRODUCING 1 PU STATOR VOLTAGE

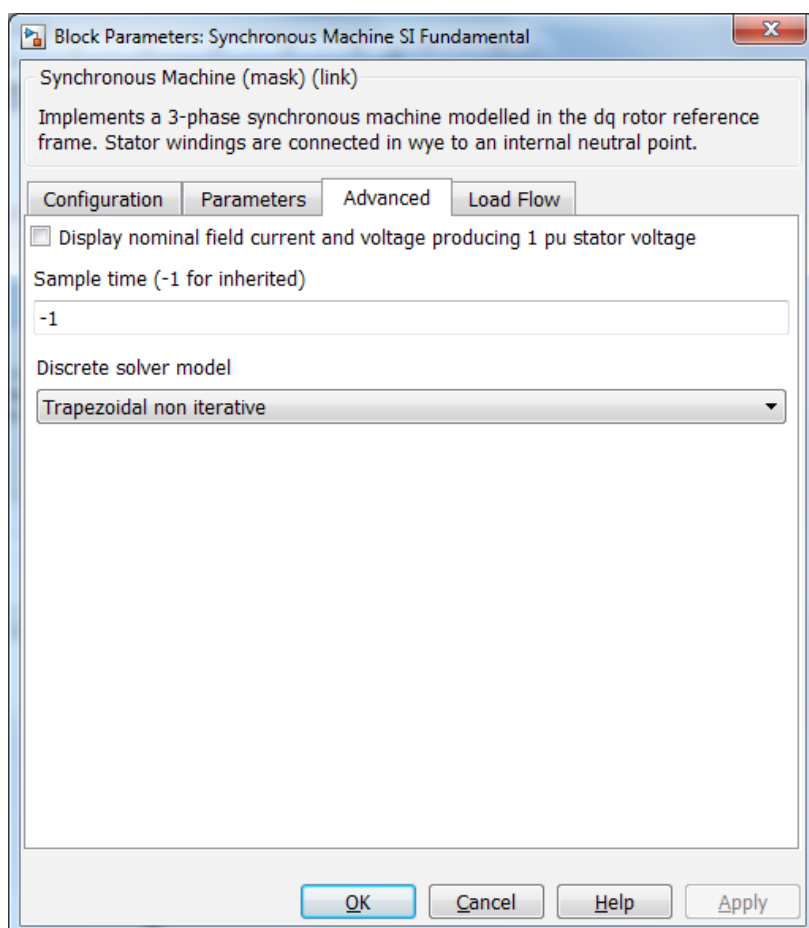
Estatoretik ikusitako remu-korrante izendatua eta tentsioa zehazteko aukeratzen da. Parametro hau Synchronous Machine SI Fundamental blokearen kasuan bistaritzen da.

SAMPLE TIME (-1 FOR INHERITED)

Blokeak laginketarako erabiltzen duen denbora adierazten du. θ Powergui blokean zehazturiko denbora heredatzeko parametro honetan -1 balioa adierazi behar da.

DISCRETE SOLVER MODEL

Powergui blokearen Solver type parametroa Discrete eran dagoenean blokeak erabiltzen duen integrzio metodoa aukeratzeko: Trapezoidal non iterative, Trapezoidal iterative eta Forward Euler



4.9. IRUDIA

Parametro aurreratuak

Load flow

Eredua hasieratzean erabiltzen diren parametroak.

MECHANICAL POWER

Potentzia mekanikoa. Makina motor eran dagoenean positiboa, eta sorgailu eran negatiboa.

GENERATOR TYPE

Makinaren sorgailu mota aukeratzeko: swing, PV edo PQ.

Swing: sorgailuaren tentsioaren magnitude eta fasea kontrolatzeko. Erreferentzi tentsioaren magnitude eta angelua Swing bus edo PV bus voltage-kin zehazten dira eta Swing bus tentsioaren angelu parametroak makinari konektaturiko Flow Bus blokearekin

PV: sorgailuaren irteera potentzi aktiboa P eta tentsio magnitudea V kontrolatzeko. Potentzia blokearen Active power generation P parametroak zehazten du eta tentsio magnitudea V , Swing bus edo Load Flow Bus blokearen PV bus tentsio parametroarekin. Sorturiko potentzi erreaktiboaren maximo eta minimoak kontrolatzeko aukera dago Q_{\min} eta Q_{\max} erabiliz.

PQ: irteera potentzi aktiboa P eta potentzi erreaktiboa Q kontrolatzeko. P eta Q Active power generation P eta Reactive power generation Q parametroekin zehazten dira.

ACTIVE POWER GENERATION P

Makinarekin sortu nahi den potentzi aktiboa, (W).

REACTIVE POWER GENERATION Q

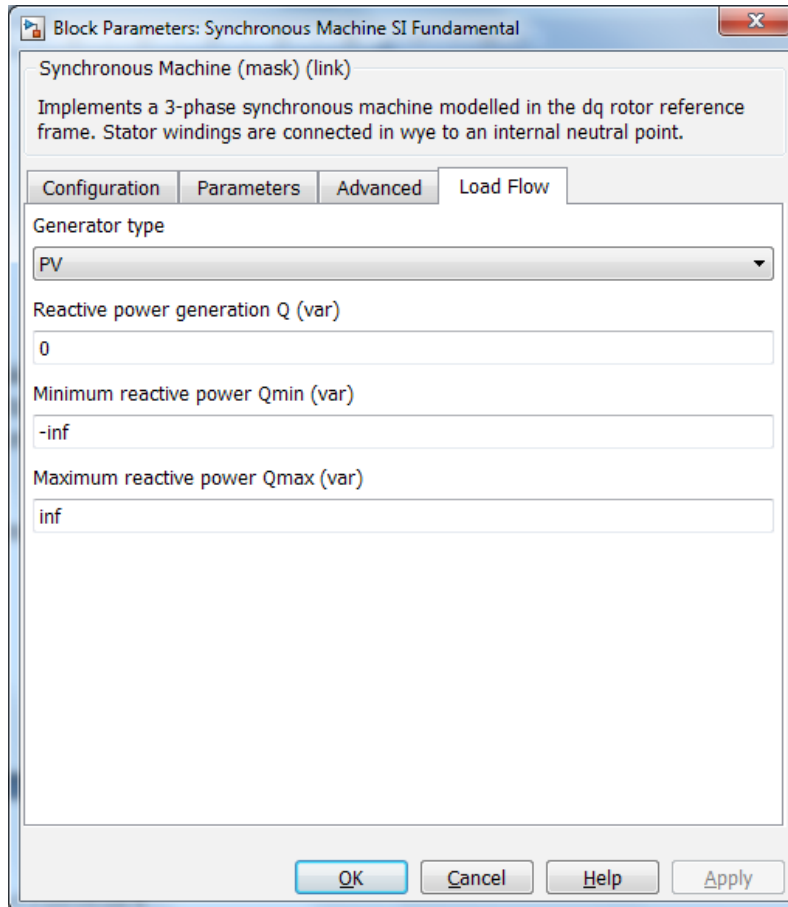
Makinarekin sortu nahi den potentzi erreaktiboa, (var).

MINIMUM REACTIVE POWER Q_{\min}

Makinak sortuko duten potentzi erreaktibo minimoa.

MAXIMUM REACTIVE POWER Q_{\max}

Makinak sortuko duten potentzi erreaktibo maximoa.



4.10. IRUDIA
Load Flow

4.3.2. Blokearen sarrerak eta irteerak

P_m

Simulink blokearen sarrerako potentzia mekanikoa da, makinaren ardatzean. Sarrera-seinale positibo bat denean, makina sinkronoaren funtzionamendua sorgailu erakoa izango da. Sarrera negatiboa denean, makina sinkronoaren funtzionamendua motor erakoa izango da.

w

Blokearen sarrera aldizkakoa (P_m parametroen balioen mende). Makinaren abiadura da (rad/s).

V_f

Eremu tentsioa. Tentsio hau tentsio erreguladore batekin ordezkutzen da makinaren funtzionamendua sorgailu erakoa denean. Motor erako funtzionamenduan konstantea izaten da.

m

Simulink blokearen irteera; irteera bektore bat da. “Bus Selector” blokea erabiliz seinale hori demultiplexa daiteke. Hautaturiko blokearen arabera unitateak SI edo pu izango dira. IV. taulan, bektore horren seinale bakoitzaren definizio, unitate eta izena adierazten dira.

IV. taula

Seinaleen definizio, unitate eta sinbologia

DEFINIZIOA	UNITATEAK	IZENA
Estatoreko korrontea: is_a	A edo pu	i_{as}
Estatoreko korrontea: is_b	A edo pu	i_{bs}
Estatoreko korrontea: is_c	A edo pu	i_{cs}
Estatoreko korrontea: iq	A edo pu	i_q
Estatoreko korrontea: id	A edo pu	i_d
Eremu korrontea ifd	A edo pu	i_{fd}
Moteldura harilkatuaren korrontea ikq1	A edo pu	i_{kq1}
Moteldura harilkatuaren korrontea ikq2	A edo pu	i_{kq2}
Moteldura harilkatuaren korrontea ikd	A edo pu	i_{kd}
Elkarrekiko fluxua: phimq	V.s edo pu	ϕ_{imq}
Elkarrekiko fluxua: phimd	V.s edo pu	ϕ_{imd}
Estatoreko tentsioa vq	V edo pu	v_q
Estatoreko tentsioa vd	V edo pu	V_d
Asetze-induktantzia Lmq	H edo pu	L_{mq}
Asetze-induktantzia Lmd	H edo pu	L_{md}
Errotore desbiderapen angelua d_theta	rad	dtheta
Errotoreko abiadura	rad/s	ω
Potentzia elektriko Pe		Pe
Errotore abiadura desbiderapena dw	rad/s	d ω
Errotorearen angelu mekanikoa theta	graduak	theta
Pare elektromagnetikoa: Te	N.m edo pu	T_e
Karga angelua	rad	deltha
Irteera potentzia aktiboa Peo	VA edo pu	P_{eo}
Irteera potentzia erreaktiboa Qeo	VAR edo pu	Q_{eo}

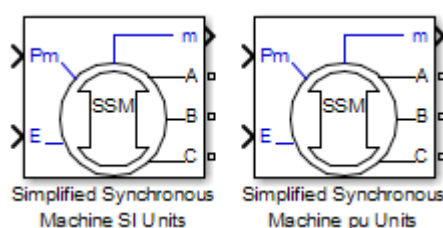
4.3.3. Oharra

Sistema diskretuetan blokea erabiltzerakoan, makinaren terminaletara konektaturiko erresistentzia-karga parasito bat erabiltzea beharrezkoa izan daiteke, zenbaki-ozilazioak saihesteko. Denbora luzeek karga handiak eskatzen dituzte. Erresistentzia-karga minimoa denbora-

rekiko proportzionala da. Arau orokor moduan kontuan izan 60 Hz-eko sistema batean, pausoa 25 μ s-koa izanik, karga minimoa gutxi gorabehera makinaren potentziaren % 2,5 dela. Adibidez, 200 MVA-ko makina sinkrono sinple batek 50 ms-ko denboran erresistentzia-kargaren % 5 edo 10 MW behar ditu. Denbora 20 ms-ra murrizten bada, 4 Mw-eko erresistentzia-karga nahikoa da.

4.3.4. Simplified Synchronous Machine blokearen deskribapena

Makina sinkrono trifasikoaren eredu sinplifikatua.



4.11. IRUDIA

Simulink-eko Simplified Synchronous Machine blokea

Makina sinkrono sinplifikatuaren blokeak makina sinkrono sinplifikatu baten ezaugarri elektriko eta mekanikoen ereduak taxutzen du.

Fase bakoitzerako modelizatzen den sistema elektrikoa tentsio-sorgailu bat RL inpedantzia batekin seriean konektatuz egiten da. RL inpedantziak makinaren barne-inpedantzia adierazten du. R -ren balioa nulua izan daiteke, baina L -ren balioak positiboa izan behar du.

Eredu mekanikoa ekuaziozotan deskribatzen da:

$$\Delta\omega(t) = \frac{1}{2H} \int_0^t (T_m - T_e) dt - K_d \Delta\omega(t) \quad (4.14)$$

$$\omega(t) = \Delta\omega(t) + \omega_0 \quad (4.15)$$

Non:

$\Delta\omega$ $\Delta\omega$ = lan-abiadurarekiko abiadura-aldaketak

H = inertzia-konstantea

T_m = pare mekanikoa

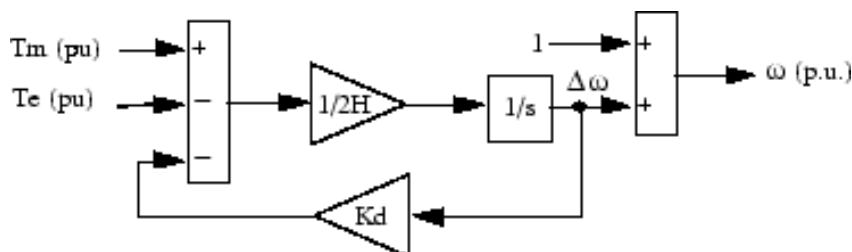
T_e = pare elektromagnetikoa

K_d = moteldura-faktorea (harilkatuen moteldura adierazteko)

$\omega(t)$ = errotorearen abiadura mekanikoa

$\omega\omega_0$ = lan-abiadura (1 p.u.)

Parametroak SI unitateak edo pu (*per unit*) erabiliz adieraz daitezke. Sistemak barneko kalkulak per unit-etan egiten ditu. 4.6. irudiko bloke-diagramak ereduaren atal mekanikoa irudikatzen du. Ereduak lan-abiadurarekiko desbideraketa kalkulatu du.



4.12. IRUDIA

Simulink-eko Simplified Synchronous Machine blokearen atal mekanikoa

K_d moteldura-faktorea makina sinkronoaren harilkatuen moteldura-efektua simulatzen du. Makina potentzia infinituko sarera konektatzen denean (zero inpedantziakoa), potentzia mekanikoaren aldaketak (P_m) direla-eta gertatzen diren makinaren potentziaren angelu-aldaketak (δ) transferentzia-funtzio honekin hurbiltzen ahal dira:

$$\frac{\delta}{P_m} = \frac{\frac{\omega_s}{(2H)}}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (4.16)$$

Non:

δ Delta potentzia-angelua: E eta U arteko angelua (rad)

P_m Potentzia mekanikoa (pu)

ω_n Oszilazio elektromagnetikoen maiztasuna = $\sqrt{\omega_s HP_{\max} / (2H)}$ rad/s

ζ Moteldura-faktorea = $(K_d / 4) \sqrt{2 / (\omega_s HP_{\max})}$

ω_s Maiztasun elektrikoa (rad/s)

P_{\max} X erreaktantziaren bidez V_t tentsio-borneetara eta E barne-tentsiora transmitituriko potentzia maximoa (pu). $P_{\max} = V_t E / X$, non V_t , E , eta X (pu)

H Inertzia-konstantea (s)

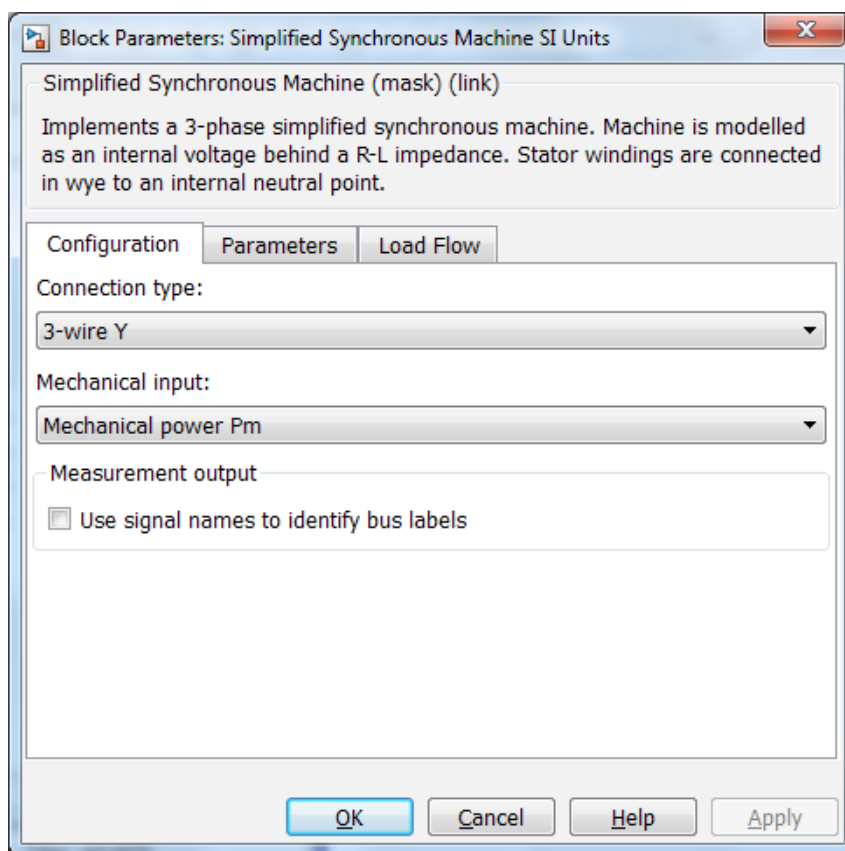
K_d Moteldura-faktorea (pu_parearena / pu_abiadurarena)

Hurbilketako transferentzia-funtzio hau, $\sin(\delta) = \delta$ eginik, onargarria izango da potentziaren angelu txikientzat ($\delta < 30^\circ$). Aurreko adierazpeneko ζ moteldura-faktoretik lehenetsitako ζ koefizientea lortzeko beharrezko den K_d balioa:

$$K_d = 4\zeta \sqrt{\omega_s HP_{\max} / 2} \quad (4.17)$$

Bloke-parametroak

Bloke-parametroetan hiru aukera daude: Configuration, Parameters eta Load Flow



4.13. IRUDIA

Simplified Synchronous Machine blokeko parametroen elkarrizketa-koadroa

*Configuration***CONNECTION TYPE**

Konexio mota adierazten du. Neutroarekin edo neutro gabe.

MECHANICAL INPUT

Ardatzean aplikaturiko potentzia mekanikoa, errotorearen abiadura edo Simulink-ek bloke-sarreran aplikatzen duen seinalea aukeratzeko modua ematen du.

Mechanical power P_m: sarrera-potentzia bat zehazteko aukeratu; W edo pu, eta P_m bloke-sarrerako etiketa aldatuko da. J inertzia (edo H inertzia-konstantea) eta aplikaturiko pare mekanikoaren eta barne-pare elektromagnetikoaren arteko kenketa eginez ($T_m - T_e$) makinaren abiadura zehazten da. Pare mekanikoaren zeinu-konbentzioa hau da: abiadura positiboa denean, potentzia mekaniko positiboko seinaleak sorgailu era adierazten du, eta seinale negatiboak motor era.

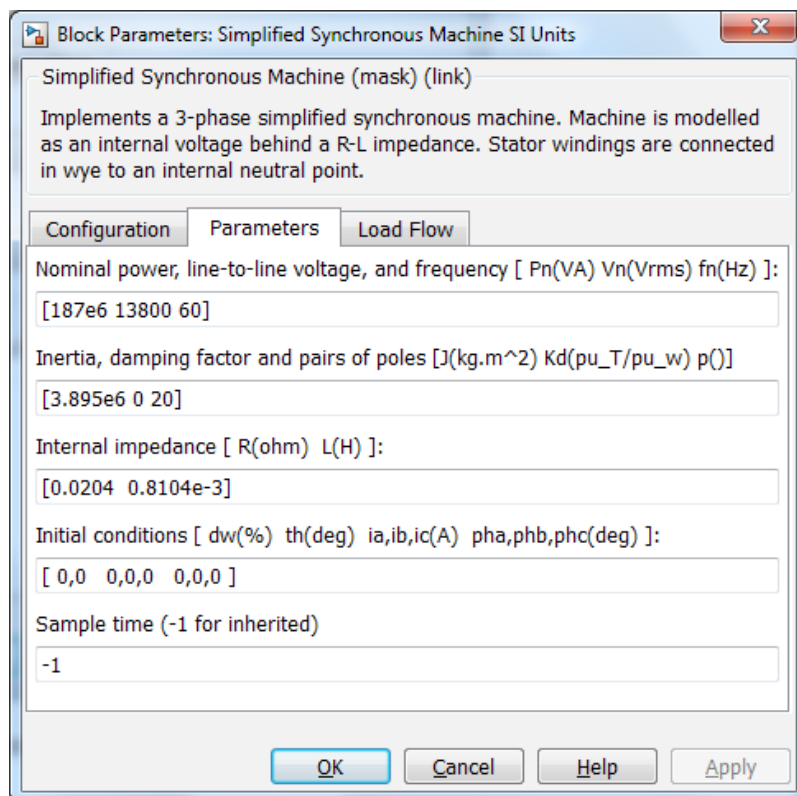
Speed w: sarrera-abiadura rad/s edo pu izan dadin, blokearen sarrera-etiketa aldatuko da. Kasu horretan, makinaren abiadura nagusitzen da, eta atal mekanikoa (H inertzia) baztertzen. Sarrera moduan abiadura erabiltzeak bi makinaren arteko akoplamendu mekanikoa ahalbidetzen du.

USE SIGNAL NAMES TO IDENTIFY BUS LABELS

Bus-etiketak identifikatzeko aukera ematen du.

PARAMETERS

Makinaren parametro elektrikoak adierazten dituen elkarrizketa-koadroa.



4.14. IRUDIA

Simplified Synchronous Machine blokeko Parameters

NOMINAL POWER, LINE-TO-LINE VOLTAGE, AND FREQUENCY

P_n itxurako potentzia izendatua (VA), f_n maiztasuna (Hz) eta V_n RMS tentsioa (linea-linea) (V). Pare izendatua kalkulatzeko eta SI unitateak per unitatetara pasatzeko erabiltzen da.

INERTIA, DAMPING FACTOR, AND PAIRS OF POLES

Inertzia (J kg.m²-tan edo H segundotan), moteldura-faktorea (Kd) eta polo-pare kopurua (p). Moteldura-faktorea (pu tortsioa)/(pu abiadura) adierazi behar da makinaren elkarrizketa-koadro bietan (pu eta SI)

INTERNAL IMPEDANCE

R fase bakoitzeko erresistentzia (ΩW edo pu) eta L erreaktantzia (H edo pu).

INITIAL CONDITIONS

Hasierako abiadura-desbideraketa (izendatuaren %), errore-angelua (gradutan), linea-korrontea (A edo pu) eta fase-angelua (gradutan).

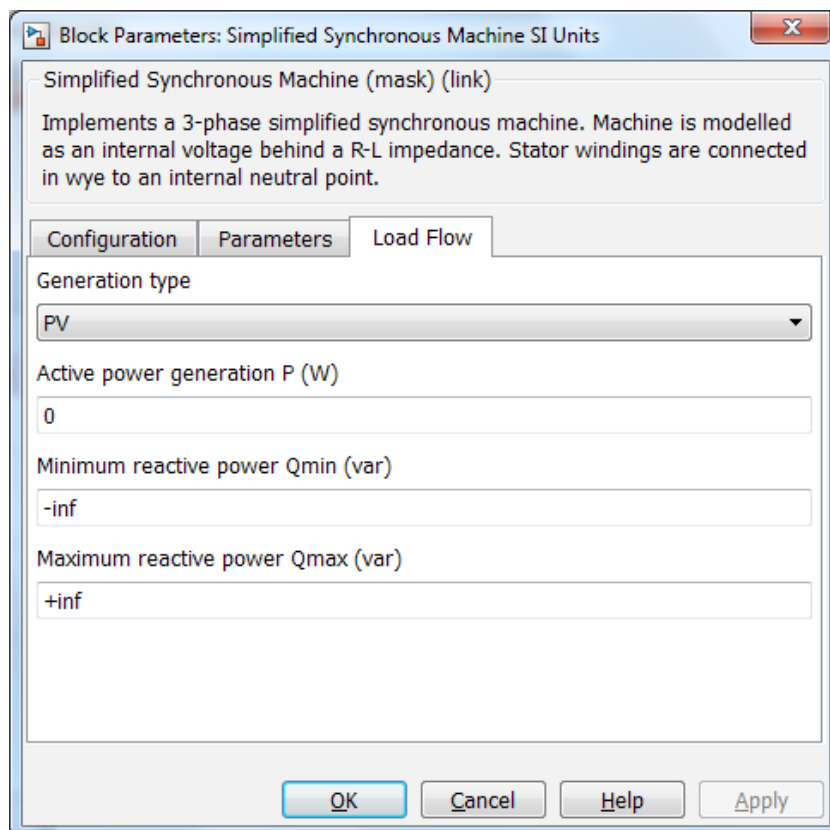
Balio horiek Powergui blokearen Load Flow tresna erabiliz programatu daitezke.

SAMPLE TIME (-1 FOR INHERITED)

Blokeak erabiltzen duen denbora adierazteko. Powergui blokearen denbora hartzeko parametro honetan -1 jarri behar da.

Load Flow

Eredua hasieratzean erabiltzen diren parametroak.



4.15. IRUDIA

Simplified Synchronous Machine blokeko Load Flow

GENERATOR TYPE

Makinaren sorgailu mota aukeratzeko: swing, PV edo PQ.

Swing: sorgailuaren tentsioaren magnitude eta fasea kontrolatzeko. Erreferentzia-tentsioaren magnitudea eta angelua Swing bus edo PV bus tentsioarekin zehazten dira eta Swing bus tentsioaren angulu-parametroak makinari konektaturiko Flow Bus blokearekin

PV: sorgailuaren P irteera-potentzia aktiboa eta V tentsio-magnitudea kontrolatzeko. Potentzia blokeko Active power generation P parametroak zehazten du, eta V tentsio-magnitudea, Swing bus edo Load Flow Bus blokeko PV bus tentsioaren parametroak. Sorturiko potentzia erreaktiboaren maximo eta minimoak kontrolatzeko aukera dago Q_{min} eta Q_{max} erabiliz.

PQ: P irteera-potentzia aktiboa eta Q potentzia erreaktiboa kontrolatzeko. P eta Q Active power generation P eta Reactive power generation Q parametroekin zehazten dira.

ACTIVE POWER GENERATION P

Makinarekin sortu nahi den potentzia aktiboa (W).

REACTIVE POWER GENERATION Q

Makinarekin sortu nahi den potentzia erreaktiboa (var).

MINIMUM REACTIVE POWER QMIN

Makinak sortuko duten potentzia erreaktibo minimoa.

MAXIMUM REACTIVE POWER QMAX

Makinak sortuko duten potentzia erreaktibo maximoa.

4.3.5. Blokearen sarrerak eta irteerak

P_m

Simulink blokearen sarrerako potentzia mekanikoa da, makinaren ardatzean. Sarrera-seinale positibo bat denean, makina sinkronoaren funtzionamendua sorgailu erakoa izango da. Sarrera negatiboa denean, makina sinkronoaren funtzionamendua motor erakoa izango da.

w

Blokearen sarrera aldizkakoa (P_m parametroen balioen mende). Makinaren abiadura da (rad/s).

V_f

Eremu-tentsioa. Tentsio hori tentsio-erreguladore batekin ordezkatzeko da makinaren funtzionamendua sorgailu erakoa denean. Motor erako funtzionamenduan konstantea izaten da.

 m

Simulink blokearen irteera; irteera-bektore bat da. "Bus Selector" blokea erabiliz seinale hori demultiplexa daiteke. Hautaturiko blokearen arabera unitateak SI edo pu izango dira. V. taulan, bektore horren seinale bakoitzaren definizioa, unitatea eta izena adierazten dira.

V. taula

Seinaleen definizioa, unitatea eta sinbologia

DEFINIZIOA	UNITATEAK	IZENA
Estatoreko korrontea: i_{s_a}	A edo pu	i_{as}
Estatoreko korrontea: i_{s_b}	A edo pu	i_{bs}
Estatoreko korrontea: i_{s_c}	A edo pu	i_{cs}
Terminaleko tentsioa: v_a	V edo pu	V_a
Terminaleko tentsioa: v_b	V edo pu	V_b
Terminaleko tentsioa: v_c	V edo pu	V_c
Barne-tentsioa: E_a	V edo pu	e_a
Barne-tentsioa: E_b	V edo pu	e_b
Barne-tentsioa: E_c	V edo pu	e_c
Errotore-angelua: θ	rad	theta
Errotoreko abiadura: ω_m	rad/s	ω
Potentzia elektrikoa: P_e	w	Pe

5.

Korronte zuzeneko makina

5.1. DESKRIBAPENA

Korronte zuzeneko makinei sorgailu eran funtzionazteko aukera dago, energia mekanikoa korronte zuzeneko energia bihurtzeko, edo motor eran, korronte zuzeneko energia elektrikoa energia mekaniko bihurtzeko.

Gehienetan korronte zuzeneko makinek motor eran funtzionatzen dute, korronte alternoko motorrekin konparatuz erantzun malguagoa ematen dutelako abiadura eta indar-momentua kontrolatzeari dagokionez.

Korronte zuzeneko makinaren osagaiak estatorea eta errotorea dira. Estatorearen poloek korronte zuzena hartzen dute, indukzioa sorrarazteko, eta induzituaren espirak errotoreko arteketan sarturik daude, zirkuitu itxiaren eran. Burdinartea errotoretik estatorera dagoen hutsartea da.

Korronte zuzeneko makinak korronte alternokoetatik bereizten dituen osagaia delga-kolektorea da. Delga-kolektorea errotorearen ardatzean kokatzen da, eta berarekin batera higitzen da, korronte zuzena korronte alferno bihurtzeko. Kolektoreak eskuiletan zehar hartzen (edo igortzen) du korrontea.

Korronte zuzeneko makinaren sailkapena egiteko gehien erabiltzen den irizpidea indukzio-eremuaren jatorria da. Sistema elektrikoaren eta sistema mekanikoaren arteko lotura den eremu magnetiko hori iman iraunkorrek sorraraz dezakete, edo korronte zuzenez elikatzen diren polo nagusien harilek.

Iman iraunkorrak erabiliz lor daitekeen eremu magnetikoak potentzia txikiko makinei eragiteko baino ez du balio. Potentzia altuagoko kasuetan polo nagusien harilek daramaten korrontea erabiltzen da. Polo nagusiko harilak elikatzeke erabiltzen den iturriaren arabera, korronte zuzeneko makinek kitzikapen independentea izan dezakete, edo autokitzikapena.

Korronteen definizioak kontuan izanik, korronte zuzeneko makinaren sailkapena egingo da:

I : kanpora (kargara) igorritako korrontea da, makinak sorgailu eran diharduenean; edo kanpotik harturikoa, makina motor eran ari denean.

I_i : induzituaren zehar doan korronte osoa da.

I_e : kitzikapen-korrontea da (I_{es} : serieko kitzikapen-korrontea; I_{ed} : deribaziozko edo paraleloko kitzikapen-korrontea).

Kitzikapen independentea duten makinak indukzio-harila elikatzeke korrante zuzena makinaz kanpoko iturriren batetik dator. Autokitziapena duten makinetan, indukzio-harila elikatzeke korrante zuzena makinatik bertatik dator, makinak sorgailu eran funtzionatzen duenean, eta errotoaren haril induzitua elikatzen duen saretik, motor eran funtzionatzen duenean.

Serieko kitzikapenean haril induzitua kitzikapen-harilarekin serie-konexioan dago. Horrela, haril induzituak eramaten duen korrante osoa kitzikapen-harilean zehar doanez gero, $I = I_i = I_{es}$ betetzen da. Hortaz, induktoreak espira gutxi eduki behar ditu, eta gainera sekzio handikoak izan behar dute, makinara sartzen den korrante osoa jasateko moduan.

Shunt, paralelo- edo deribazio-kitzikapenean induktorea zuzenean konektaturik dago makinaren borneekin, eta paraleloan induzituarekin. Egoera honetan:

$$I_1 = I_{ed} + I, \text{ makina sorgailu eran}$$

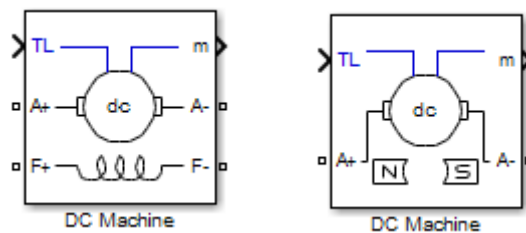
$$I = I_{ed} + I_1, \text{ makina motor eran}$$

$(I_{ed}/I_1) \ll I$ dela kontuan harturik, induktoreak espira asko eduki behar ditu, eta espirok sekzio txikikoak izan behar dute.

Compound edo kitzikapen konposatuko kitzikapenean, kitzikapena bi harilek sortzen dute. Bata serie-konexioan dago induzituarekin, eta bestea paralelo-konexioan. Shunt harila eskuilekin zuzenean konektaturik daukaten makinei *deribazio laburreko makina konposatu* esaten zaie, eta shunt harila serieko harilaren ondoren konektaturik daukatenei *deribazio luzeko makina konposatu*.

5.2. SIMULINK BLOKEA

5.1 irudian Simulink-en korrante zuzeneko makinaren blokea ageri da. Korrante zuzeneko makinaren blokeak iman iraunkorreko edo korrante zuzenez elikatutako polo nagusien harilen funtzionamendua duen makina baten eran lan egin dezake. Hau da, indukzio-eremuaren jatorria hautatzeko aukera dago.



5.1. IRUDIA

Korrante zuzeneko makinaren blokea

a) haril-funtzionamendua duena b) iman iraunkorrekoa.

Korrante zuzenez elikatutako harilen funtzionamendua aukeratzen bada, harilen elikaduraren-tzat, 5.1 irudiko F+ eta F- terminalak erabiltzen dira. Hori dela eta, makina shunt-kitzikapenean edo serie-kitzikapenean konektatzeko aukera dago. Aplikaturiko parea T_L sarreraren bitartez egiten da.

Errotorearen zirkuitua (A+ eta A-): L_a (errotoreko harilkatuaren inдукtanzia) eta R_a (errotoreko harilkatuaren erresistentzia) E indarrarekin (indar-kontraelektroeragilea) seriean. E makinaren abiadurarekiko proportzionala da.

$$E = K_E \omega \quad (5.1)$$

Non:

K_E : tentsio-konstantea eta ω : makinaren abiadura.

Kitzikapen independenteko makinaren modeloan, K_E tentsio konstantea I_f kitzikapen-korrontearekiko proportzionala da:

$$K_E = L_{af} I_f \quad (5.2)$$

L_{af} : estatore eta errotoreen arteko elkarrekiko inдукtanzia.

Makinan garaturiko pare elektromekanikoa I_a errotoreko korrontearekiko proportzionala da.

$$T_e = K_T I_a \quad (5.2)$$

K_T : pare konstantea. T_e eta T_L zeinu-konbentzioa hau da:

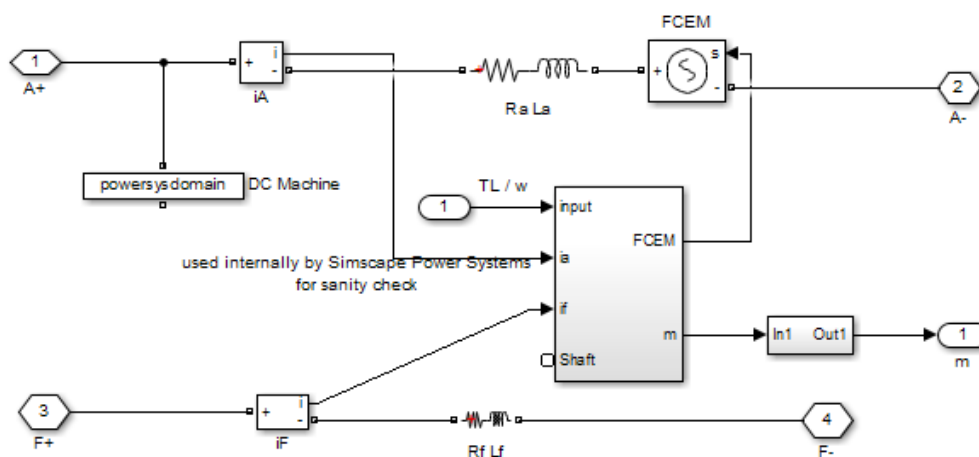
$T_e, T_L > 0$: motor era

$T_e, T_L < 0$: sorgailu era

Pare eta tentsio konstanteak berdinak dira.

$$K_T = K_E.$$

Errotore-zirkuitua korronte zuzeneko makinaren blokearen A+ eta A- ataletan konektaturik dago. Horretarako, R_a L_a blokea erabiltzen da kontrolaturiko tentsio-sorgailu batekin eta korronte-neurgailu bloke batekin seriean konektatuz (ikusi 5.2. irudia).

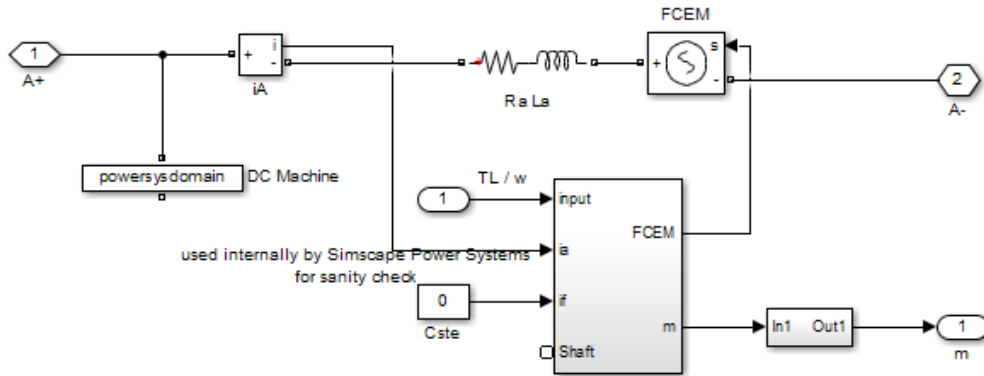


5.2. IRUDIA

Korronte zuzeneko makinaren blokearen zirkuitua

5.2. irudian erakusten da kitzikapen-zirkuitua R_f eta L_f blokeak osatzen duela. Bloke hori korronte zuzeneko makinaren blokearen F+ eta F- atalen artean konektatzen da

Iman iraunkorreko korronte zuzeneko makinaren modeloan ez dago kitzikapen korronterik, eta kitzikapen-fluxua imanek sortzen dute (ikusi 5.3. irudia). K_E eta K_T konstanteak dira.



5.3. IRUDIA

Iman iraunkorreko korronte zuzeneko makinaren blokearen zirkuitua

Errotorean aplikaturiko paretik abiatuz blokearen atal mekanikoak makinaren abiadura kalkulatu du. Abiadura hori errotoreko indar kontraelektroeragilea ezartzeko erabiltzen da.

Atal mekanikoaren ekuazioa:

$$J \frac{dw}{dt} = K_e - T_L - B_m \omega - T_f \tag{5.3}$$

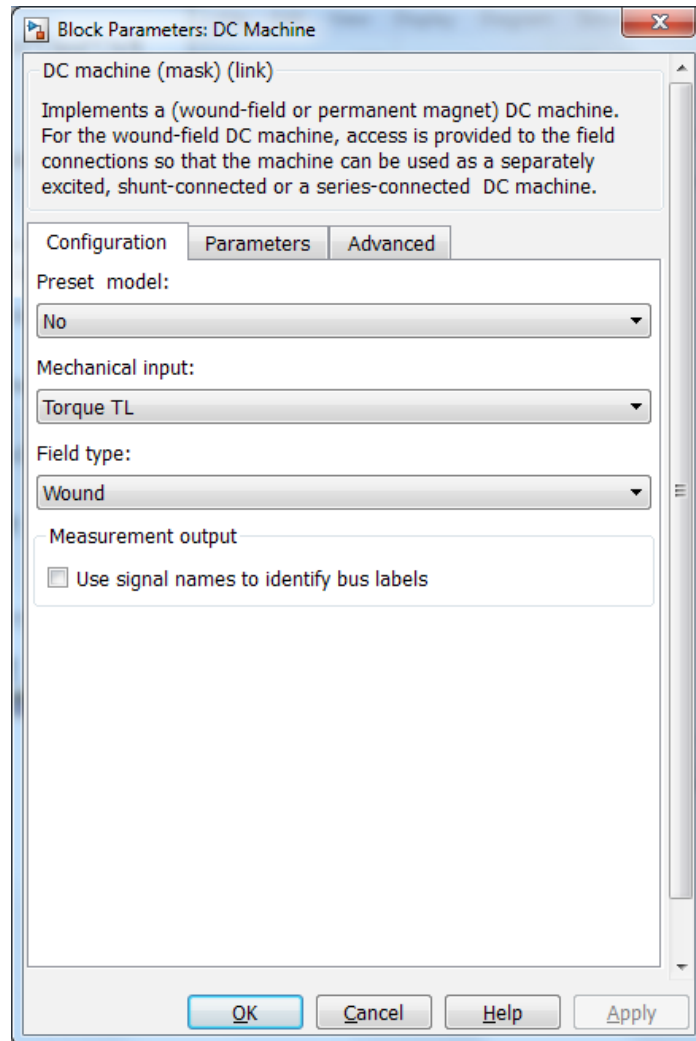
Non:

J = inertzia,

B_m = biskositateko marruskadura-koefiziente, eta

T_f = Coulomb marruskadura-parea.

Blokeko parametroetan hiru aukera daude: Configuration, Parameters eta Advanced



5.4. IRUDIA

DC Machine blokeko parametroen elkarrizketa-koadroa

Configuration

Preset model

Potentzia (HP), DC tentsio (V), abiadura (rpm) eta eremu-tentsio (V) ezberdineko makinentzat lehenetsitako parametro elektriko eta mekanikoak eskaintzen ditu. Aukera hau ez da agertzen, iman iraunkorreko makinaren modeloa hautatzen bada.

Lehenetsitako eredurik ez bada erabili behar, “No” aukeratu.

Lehenetsitako eredu bat aukeratzean, Parameters ataleko parametro elektriko eta mekanikoak aldaezin bihurtzen dira.

Lehenetsitako eredu batetik abiatzeko eta ondoren makinaren balioak aldatzeko, hau egin behar da:

1. Aukeratu lehenetsitako eredu parametroak hasieratzeko.
2. Aldatu "Preset model" balioa: "No". Eragiketa horrek ez ditu makinaren parametroak aldatuko. Hala, lehenetsitako ereduarekiko konexioa bertan behera uzten da.
3. Aldatu makinaren parametroak, eta ondoren: "Apply".

Mechanical input

Ardatzean aplikaturiko potentzia mekanikoa, errotorearen abiadura edo Simulink-ek bloke-sarreran aplikatzen duen seinalea aukeratzeko modua ematen du.

Torque T_L : sarrera-pare bat zehazteko aukeratu; N.m eta T_L bloke-sarrerako etiketa aldatuko da. J inertzia (edo H inertzia-konstantea) eta aplikaturiko pare mekanikoaren eta barne-pare elektromagnetikoaren arteko kenketa eginez ($T_m - T_e$) makinaren abiadura zehazten da. Pare mekanikoaren zeinu-konbentzioa hau da: abiadura positiboa denean, pare mekaniko positiboko seinaleak motor era adierazten du, eta seinale negatiboak sorgailu era.

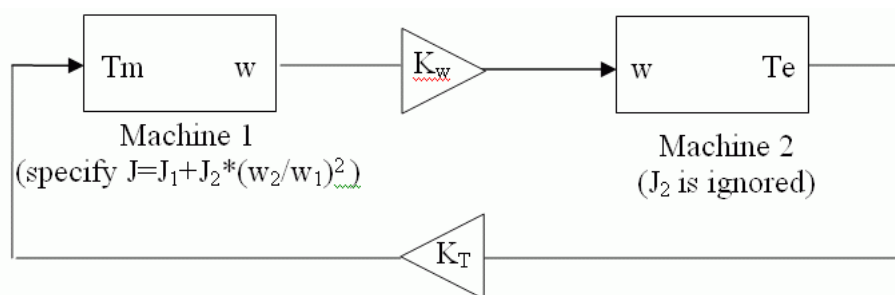
Speed w : sarrera-abiadura rad/s edo pu izan dadin, blokearen sarrera-etiketa aldatuko da. Kasu horretan, makinaren abiadura nagusitzen da, eta atal mekanikoa (J inertzia) baztertzen. Sarrera moduan abiadura erabiltzeak bi makinaren arteko akoplamendu mekanikoa ahalbidetzen du.

5.5. irudian, motor-sorgailu talde batean ardatz zurruneko interkonexio baten ereduak erakusten da.

1. makinaren (motorraren) irteera-abiadura 2. makinaren (sorgailua) sarrera-abiadurara konektatzen da. T_e 2. makinaren irteera-pare elektromagnetikoa 1. makinaren sarreran aplikatzen da, T_L sarrerako pare mekanikoan.

K_w faktoreak makina bien abiadura unitateak hartzen ditu kontuan (rad/s), baita engranajekutzaren erlazioa ere. K_T faktoreak makina bien pare unitateak hartzen ditu kontuan (Nm).

2. makinan J_2 inertzia baztertzen denez eta J_2 1. makinara mugatu denez, 1. makinari J_1 inertzia gehitu behar zaio.

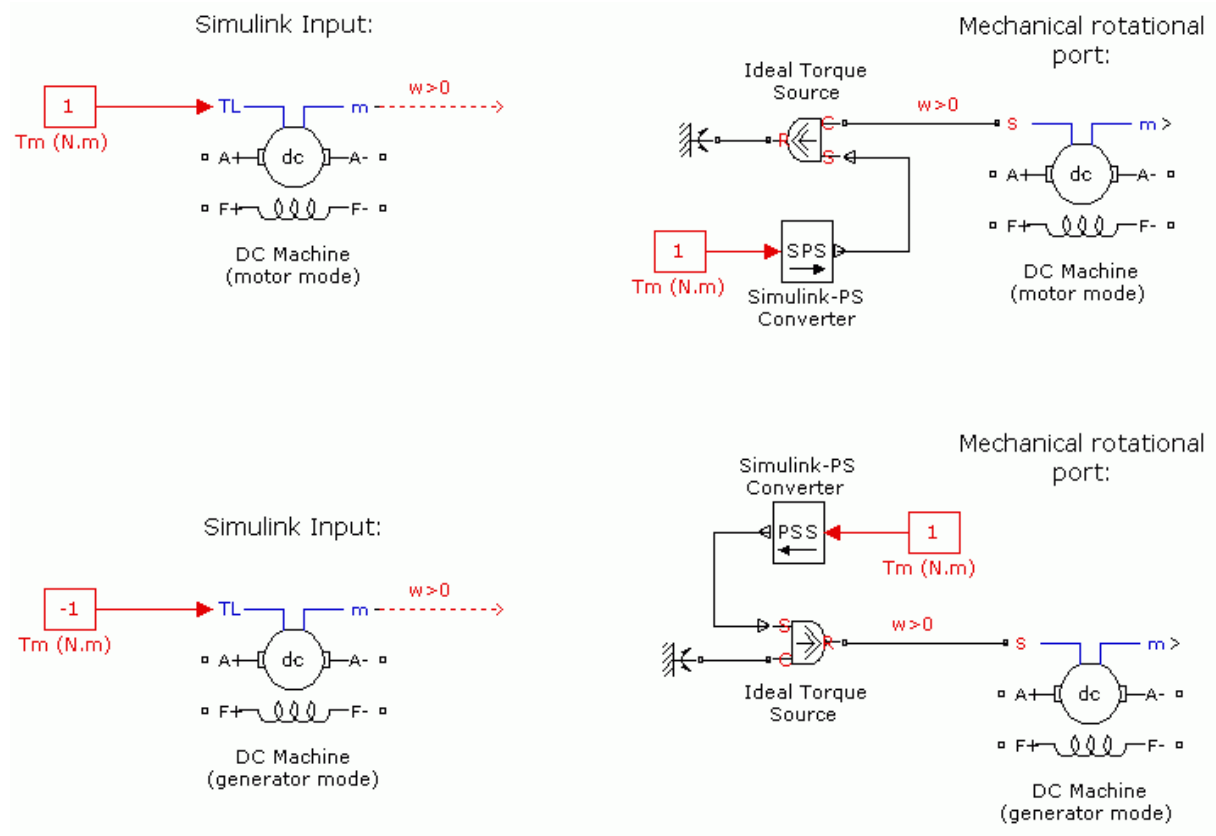


5.5. IRUDIA

Motor-sorgailu talde batean ardatz zurruneko interkonexio baten ereduak

Mechanical rotational port: aukera hau beste bloke batzuekin lotura mekanikoa ezartzeko erabiliko da.

Irudian adibide batzuk erakusten dira.



5.6. IRUDIA

DC makinaren Mechanical rotational port-en adibideak

Field type

Korronte zuzenez elikaturiko harilen funtzionamendua duen edo iman-iraunkorreko funtzionamendua duen blokea hautatzeko.

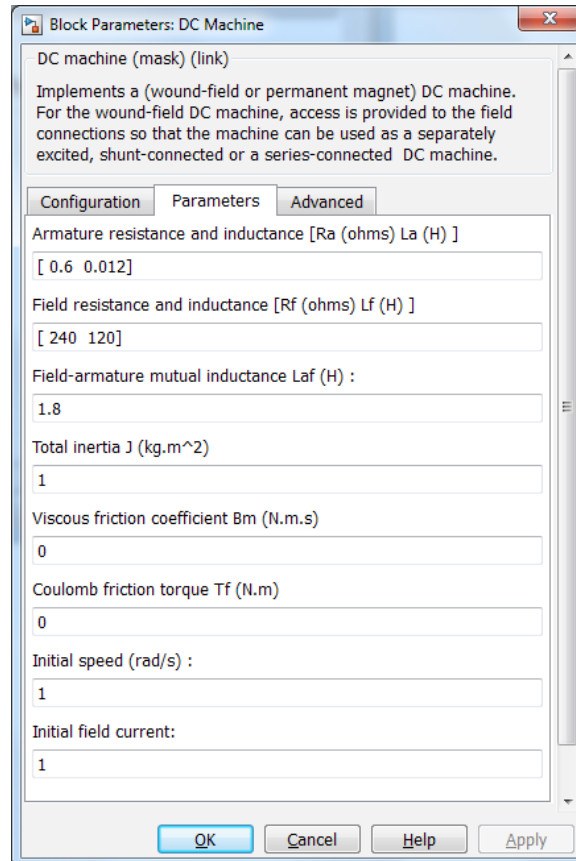
USE SIGNAL NAMES TO IDENTIFY BUS LABELS

Bus-etiketak identifikatzeko aukera ematen du.

Parameters

Armature resistance and inductance [$R_a L_a$]

R_a errotoreko erresistentzia (W), eta L_a errotoreko induktantzia (H).



5.7. IRUDIA

Parametro elektrikoien atala

Field resistance and inductance [R_f L_f]

R_f kitzikapen erresistentzia (W), eta L_f induktantzia (H).

Field armature mutual inductance Laf

Errotoreko eremuko elkarrekiko induktantzia (H).

Specify

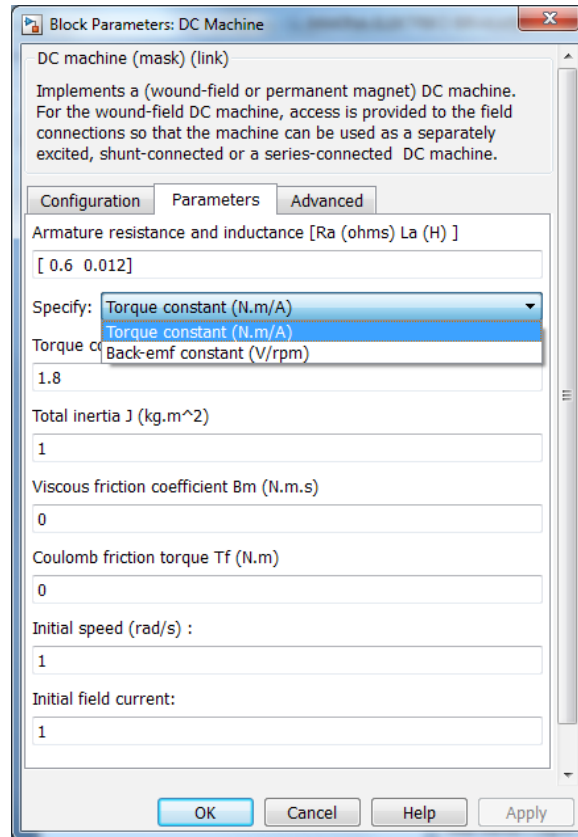
Iman iraunkorreko makinaren blokearentzako bloke-parametroak aukeratzeko. Kasu honetan zehaztuko diren parametroak:

Torque constant

Pare-korronte erlazio-konstantea iman iraunkorreko korronte zuzeneko makinan (Nm/A).

Back-emf constant

Tentsio-abiadura konstantea iman iraunkorreko korronte zuzeneko makinan (V/rpm).



5.8. IRUDIA

Parametro elektrikoien atala iman iraunkorreko makinaren blokean

Total inertia J

Korronte zuzeneko makinaren inertzia ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$).

Viscous friction coefficient Bm

Korronte zuzeneko makinaren marruskadura-koefizientea ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$).

Coulomb friction torque Tf

Korronte zuzeneko makinaren Coulomb marruskadura-pare konstantea ($\text{N}\cdot\text{m}$).

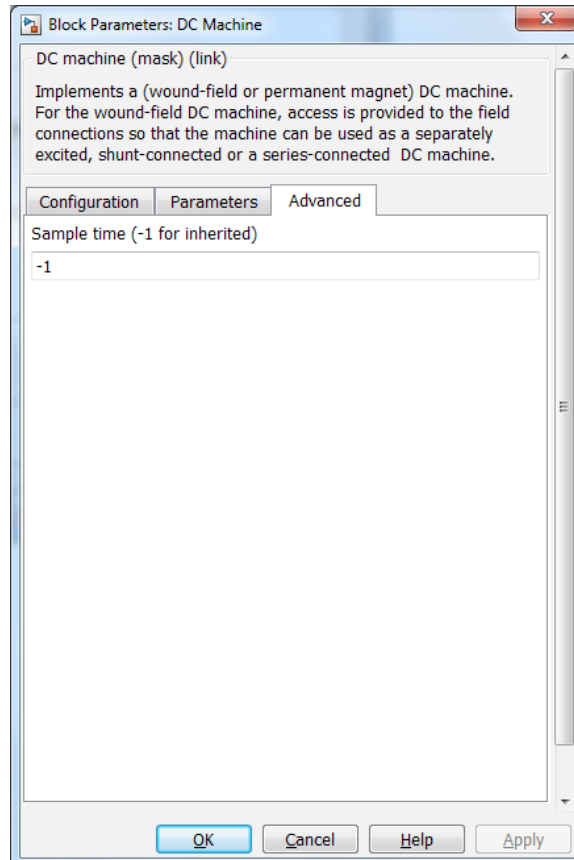
Initial speed

Simulazioa hasierako abiadura zehatz batekin abiatzeko, korronte zuzeneko makinaren hasierako abiadura zehazteko (rad/s). Simulazioa steady state egoeran abiatzeko, T_L sarrera-parearean seinaleak hasierako abiadurarekiko proportzionala izan behar du.

Advanced

Sample time (-1 for inherited)

Blokeak laginketarako erabiltzen duen denbora adierazten du. θ Powergui blokean zehazturiko denbora heredatzeko parametro honetan -1 balioa adierazi behar da.



5.9. IRUDIA

Parametro aurreratuen atala**Blokearen sarrerak eta irteerak**

TL

Simulink blokearen sarrerako pare mekanikoa da (N.m).

w

Simulink blokearen sarrerako beste aukera bat abiadura da (rad/s). Aukera hau sarrera mekanikoaren parametroen menpe dago.

m

Blokearen irteera. Neurketa-seinaleen bektorea.

Simulink blokearen irteera; irteera-bektore bat da. Bus Selector blokea erabiliz seinale hori demultiplexa daiteke.

VI. taula

Seinaleen definizio, unitate eta sinbologia

DEFINIZIOA	UNITATEAK	IZENA
Abiadura: ω_m	rad/s	w
Errotore-korrontea: i_a	A	iA
Kitzikapen-korrontea: i_f	A	iF
Pare elektrikoa: T_e	N.m	Te

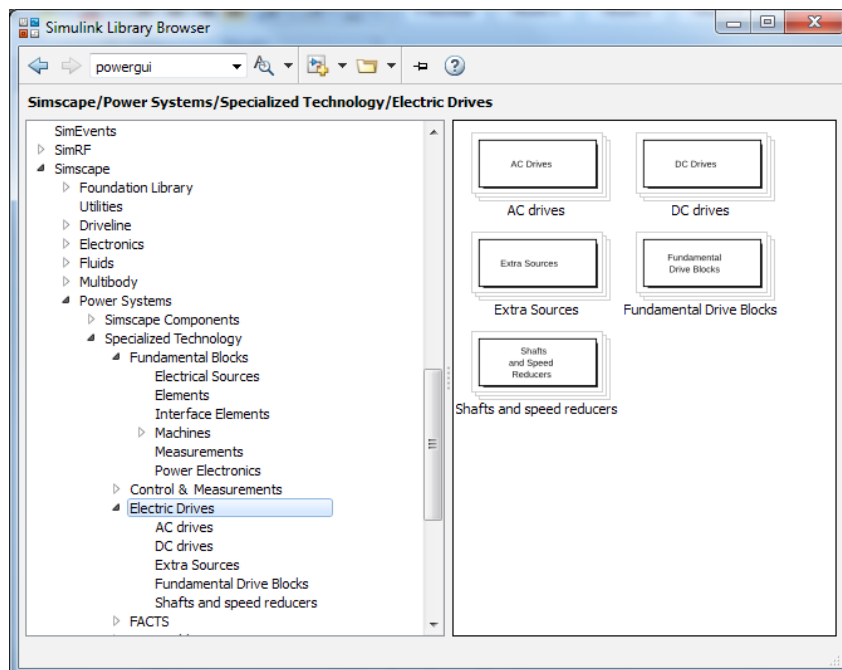
6.

Electric Drives bibliotekako blokeak

Atal honetan, Matlab-eko Simulink Electric Drives bibliotekako DC modeloak ezagutuko ditugu.

Electric Drive edo eragingailu elektrikoa sistema bat da abiadura erregulagarrian energia elektrikoa energia mekaniko bihurtzen duena. Eragingailu elektrikoak korrante- edo pare-erregulazioa izaten du motorraren korrantea segurtasunez kontrolatzeko. Hori dela eta, pare/abiadura-eragingailu elektrikoak edozein karga mekanikoren egoera egonkorreko pare/abiadura-ezaugarriak berdintzen ditu.

Karga mekanikora moldatzen den motor honek energia-eraginkortasuna dakar, eta hala energia-kostuak murrizten ditu. Gainera azeleraziotik deseleraziorako tartetean dinamika azkarra eskaintzen du, eta abiatze eta gelditze leunak ahalbidetzen ditu.



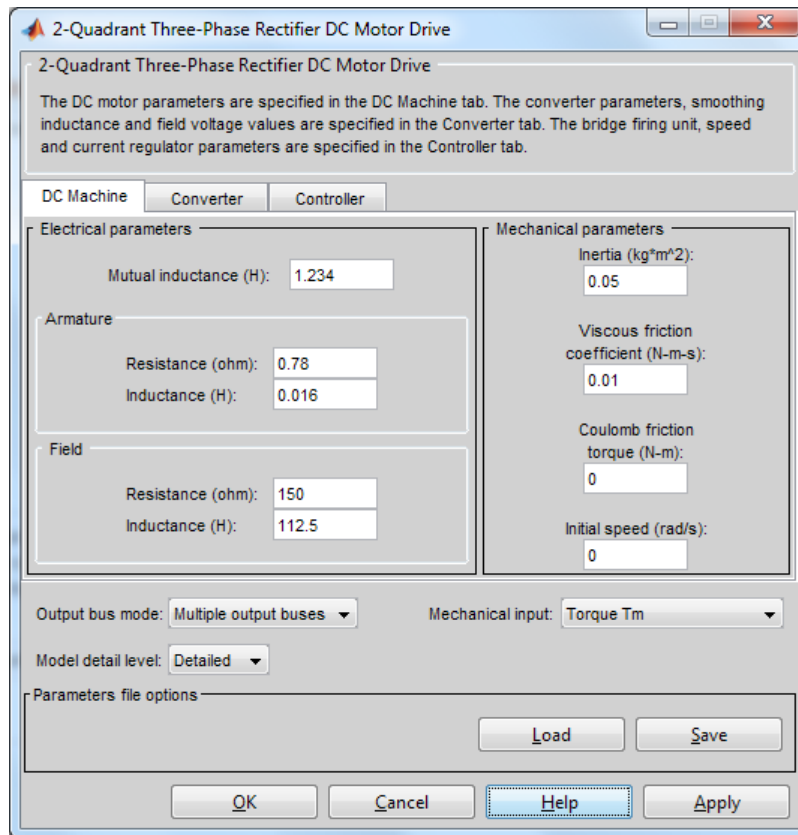
6.1. IRUDIA

Electric Drives atala Simulink-en

6.1. ELECTRIC DRIVE BATEN HIRU OSAGAI NAGUSIAK

Simulink-eko Electric Drive edo eragingailu elektrikoaren blokeak hiru osagai nagusi ditu.

6.2. irudian, Electric Drive bloke baten adibidea duzu, kasu honetan hiru osagai nagusiak dituena: motor elektrikoa, bihurtzailua eta kontroladorea.



6.2. IRUDIA

Electric Drive adibidea

Motor elektrikoa

Eragingailu elektriko batean korrante zuzeneko edo alternoko motorra erabiltzeko aukera dago. Erabiltzen den motorraren arabera eragingailua korrante zuzeneko (DC motor drive) edo alternokoa izango da (AC motor drive)

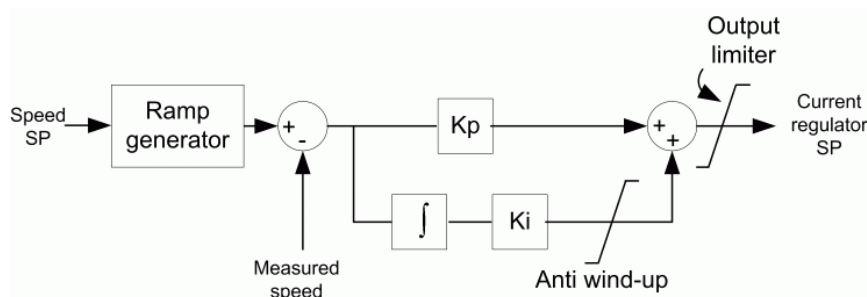
Potentzia elektronikoko bihurtzailua

Sorgailu elektrikitik abiatuz tentsio eta maiztasun aldakorrak sortzen ditu. Eragingailu elektrikoaren arabera bihurtzailu mota anitz daude. Korrante zuzeneko eragingailuak fase kontrolatuko aztergailuetan oinarritzen dira (AC-DC) edo chopper-etan (DC-DC). Korrante alternoko eragingailuek inbertsoreak (DC-AC) edo ziklo-bihurtzailuak (AC-AC) erabiltzen dituzte.

Potentzia elektronikoko edozein bihurgailuren oinarriko osagaia etengailu elektronikoa da, erdikontrolatua (Tiristorea) edo guztiz kontrolatua (IGBT, GTO). Etengailu elektronikoen kontrolagarritasuna da korrante alternoko tentsio eta maiztasun aldakorrek sortzeko aukera ematen duen ezaugarria.

Kontroladorea

Kontroladoreak lortu nahi den pare/abiadura, sentsoreak berrelikatzen dituen erreguladorearen aldagaiak kontuan izanik (korranteak, abiadura, etab.), bihurgailu elektronikoen desarra-pultsu bihurtzen du. Hori egiteko, lehenengo kontroladorea korrante- edo pare-erreguladore batean oinarritzen da. Korrante-erreguladorea derrigorrezkoa da motorra babesteko. Eragingailua pare-erregulazio moduan baldin badago, erreguladorearen doitasun-puntua (SP, Set Point) kanpotik ematen ahal da, eta, eragingailua abiadura-erregulazio moduan baldin badago, abiadura-erreguladore baten bitartez barnetik ematen ahal da. Simulink-en eragingailu elektrikoaren bibliotekan abiadura-erreguladorea korrante-erreguladorearekin seriean dago, eta PI kontroladore batean oinarritzen da. PI kontroladore horrek hiru ezaugarri garrantzitsu ditu: SP aldaketa-balioak mugatuak dira, aldaketa bortitzak sahisteko; korrante-erreguladorearen SPa den abiadura-erreguladorearen irteera maximo eta minimoekin mugaturik dago; eta integrazio atala mugaturik dago. 6.3 irudian PI kontroladore batean oinarrituriko abiadura-erreguladore baten bloke-diagramaren adibide bat erakusten da.



6.3. IRUDIA

Abiadura-erreguladore baten bloke-diagramaren adibidea

6.2. DC MOTOR DRIVE SIMULAZIOA

Atal honetan, Simulink-en Electric Drives bibliotekako DC drive modeloak ikusiko dira. Bibliotekan zazpi modelo daude: DC1-etik DC7-ra bitartekoak. Zazpi modeloak DC eskuila motorrean oinarritzen dira. Motor horrek harilkatu bi ditu: kitzikapen-edo induktore-harilkatua eta induzitua. Kitzikapen-harilkatuarekin makinak behar duen kitzikapena sortuko da, eta induzituko harilek induzituriko korrantea eramango dute. Induzituko zirkuituko denbora-konstantea (L/R) induktorekoa baino askoz ere txikiagoa denez, induzituko tentsio-aldaketarekin eginiko abiadura-kontrola eremu-tentsioaren aldaketarekin eginikoa baino azkarragoa da. Hori dela eta, kitzikapen-eremua tentsio konstanteko iturri batekin elikatzen da, eta induzituaren harilkatuak korrante zuzeneko iturri aldakor batekin elikatzen dira. Korrante zuzeneko iturri aldakorra fasean kontrolaturiko tiristoreen bihurgailu batekin egiten da DC1-etik DC4-rako modeloetan, eta

beste modeloetan chopper transistore batekin. DC1 eta DC2 modeloetan tiristoreen bihurtzailua korrante alternoko iturri monofasiko batekin elikatzen da, eta trifasikoarekin DC3 eta DC4 modeloetan. Ondorengo taulan Simulink-en eskaintzen diren zazpi modeloen lan koadrante taldeak laburtzen dira.

VII. taula

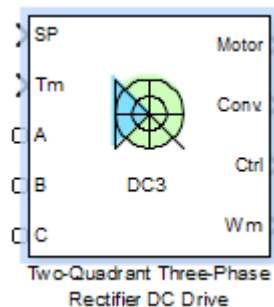
DC Motor Drive modeloen lan-koadranteak

Modeloa	Bihurgailua	Lan-koadranteak
DC1	Monofasikoa tiristoreduna	I-II
DC2	Monofasikoa tiristoreduna	I-II-III-IV
DC3	Trifasikoa tiristoreduna	I-II
DC4	Trifasikoa tiristoreduna	I-II-III-IV
DC5	Chopper	I
DC6	Chopper	I-II
DC7	Chopper	I-II-III-IV

Balaztatze birsortzailea

II. eta IV. koadranteetan lan egitea aurrera eta atzera balaztatzeari dagokio. Simulink bibliotekako DC Drive modeloentzat, balaztatze hori birsortzailea da; hau da, motor-kargaren energia zinetikoa energia elektriko bihurtzen da, eta elikadura-iturrira bueltatzen da. Noranzko biko potentzia-fluxu hori lortzeko, korrantea nulua denean motorraren konexioak trukutzen dira (DC1 eta DC3), edo bigarren bihurtzailu bat erabiltzen da (DC2 eta DC4). Metodo biak motorraren korrantea alderantzikatzea ahalbidetzen dute mugimenduaren noranzkoaren kontrako pare elektrikoak sortzeko helburuarekin. DC5, DC6 eta DC7 modeloek balaztatze birsortzailea aurrekoaren antzera sortzen dute.

DC Driveren adibide bat aztertuko da: DC3 modelo



6.4. IRUDIA

DC3 Drive modeloaren blokea Simulink-en

DC3 modeloa: sorgailurako konexioa

Modelo guztiek hiru sarrera dituzte: potentzia elektrikoko sarrera (trifasiko edo monofasikoa), abiadura- edo pare-erreferentziako (SP) sarrera, eta pare mekanikoko (Tm) sarrera. DC3 modeloa modelo trifasikoa da, eta hiru sarrera elektriko izango ditu: A, B eta C. Hiru sarrera horiek sorgailu egoki batera konektatu behar dira.

Tiristore zubi-arte-gailu trifasikoaren irteerako batezbesteko tentsioa:

$$V_{out} = \frac{3\sqrt{2}V_{lrms}}{\pi} \cos \alpha \quad (6.1)$$

Tentsio-kontrol hobea lortzeko, angelu minimoa aplikatzen da:

$$V_{out,max} = \frac{3\sqrt{2}V_{lrms}}{\pi} \cos \alpha_{min} \quad (6.2)$$

Non:

V_{lrms} : sorgailu trifasikoaren fase-fase rms tentsioa

α : tiristoreen desarra-angelua

Beharrezko den tentsio konposatua, 6.2 ekuaziotik lortzen da.

Sorgailu trifasiko erreal bat adierazteko, R erresistentziaren eta L harilaren balioak ezarri behar dira. Baliook kalkulatzeko P_{sc} zirkuitulaburreko potentzia eta emandako X/R ($X = L.\omega$) erlazioa erabiltzen dira. Ohikoena sorgailuko inpedantziak xurgaturiko zirkuitulaburreko potentzia, gutxienez, potentzia izendatua baino 20 aldiz handiagoa hartzea da, eta industrian X/R erlazioa 10 izaten da.

Ondorengo ekuazioak eta aurretik aipaturikoa kontuan izanik, erabili behar den sorgailuko balioak lortzen dira

$$Z = \frac{V^2}{P_{sc}} \quad (6.3)$$

$$R = \frac{Z}{r} \quad (6.4)$$

$$L = \frac{Z}{\omega} \quad (6.5)$$

DC3 modeloa: karga mekanikorako konexioa

Tm sarrerak korrante zuzeneko motorren ardatzean aplikaturiko para adierazten du. Karga pareak eta abiadurak aurkako zeinua badute, azelerazio-para pare elektromagnetikoaren

eta karga-parearen batura izango da. Zenbait karga-pare eragindako kargaren abiadurarekiko proportzionalak dira (6.6 ekuazioa).

$$T_{mec} = K\omega_m = K'N_m \quad (6.6)$$

Non: ω_m abiadura (rad/s) eta N abiadura (rpm).

Karga-pare mekaniko mota hori kalkulatzeko, beharrezkoa da motorraren abiadura ezagutzea. DC3 modeloaren irteerak erabiliz lor daiteke. Matlab-eko Simulink-eko bibliotekako modelo guztiek lau irteera-bektore dituzte: “Motor”, “Conv”, “Ctrl” eta “Wm”. Motor bektoreak motorraren erlazioaturiko aldagai guztiak barneratzen ditu; Conv bektoreak bihurtuaren tentsio- eta korrante-balioak barneratzen ditu, eta Ctrl bektoreak erregulazioari dagozkion balio garrantzitsuak ditu (abiadura-parearen erreferentzia-seinalea, parearen abiadura edo erregulazio-errorea, desarra-angelua, etab). Wm motorraren abiadura da, rad/s-tan adierazia.

6.6 ekuazioa erabiliz, Wm motorraren abiadura K konstanteaz biderka daiteke, eta horrela DC3 modeloaren sarrerako pare mekanikoa (T_m) kalkulatu.

K konstantea abiadura izendatua eta pare izendatua ezagutuz kalkulatzen da.

$$P_{m,n} = T_{mec,n}\omega_{m,n} = T_n \frac{\pi N_{m,n}}{30} \quad (6.7)$$

6.7 ekuazioa erabiliz pare mekaniko izendatua kalkulatzen da, eta 6.6 ekuazioarekin K-ren balioa

DC3 modeloa: Set Point

SP balioa, erregulazio moduaren arabera (pare- edo abiadura-erregulazioa), abiadura (rpm) edo pare (Nm) baten balioa izaten ahal da.

DC3 modeloa: irteerak

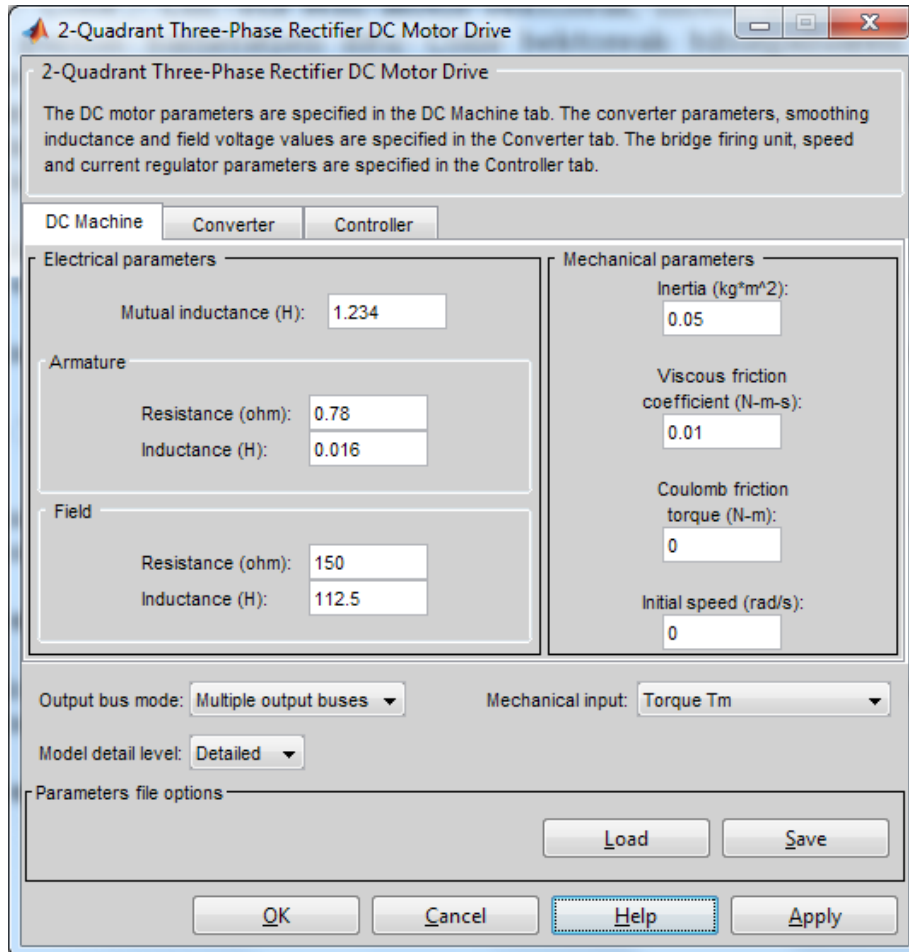
DC3 modeloan irteerak ikusteko Scope erabiliko da. Adibidez:

- Tiristore zubiaren desarra-angelua
- Motorraren estatoreko tentsioa
- Motorraren estatoreko korrante eta erreferentzia
- Erreferentzia-abiadura eta motor-abiadura
- ...

DC3 modeloan, irteerara konektaturiko seinaleak ikusteko: Edit/Look Under Mask

DC3 modeloa: parametroen leihoa

Blokearen parametroetan hiru aukera daude: DC Machine, Converter eta Controller.



6.5. IRUDIA

DC3 Drive modeloaren parametroen leihoa Simulink-en

Hiru aukerak aztertu baino lehen, parametro orokorrak aipatuko ditugu:

OUTPUT BUS MODE

Irteera-aldagaiak antolatzeko aukera. Multiple output buses hautatzean blokeak hiru irteera-bus izango ditu: motorraren, bihurgailuaren eta kontroladorearen aldagaiena. Single output bus hautatzen bada, aldagai guztiak bus bakar batean egongo dira.

MODEL DETAIL LEVEL

Bihurgailuaren detailed (zehatza) edo average (batezbesteko) balioak aukeratzeko.

MECHANICAL INPUT

Karga-para, motorraren abiadura eta errotazio mekanikoa aukeratzeko.

Karga para aukeratzten bada sistema mekanikoaren dinamika adierazten duen 6.8 ekuazioarekin bat, irteera-motorraren abiadura izango da:

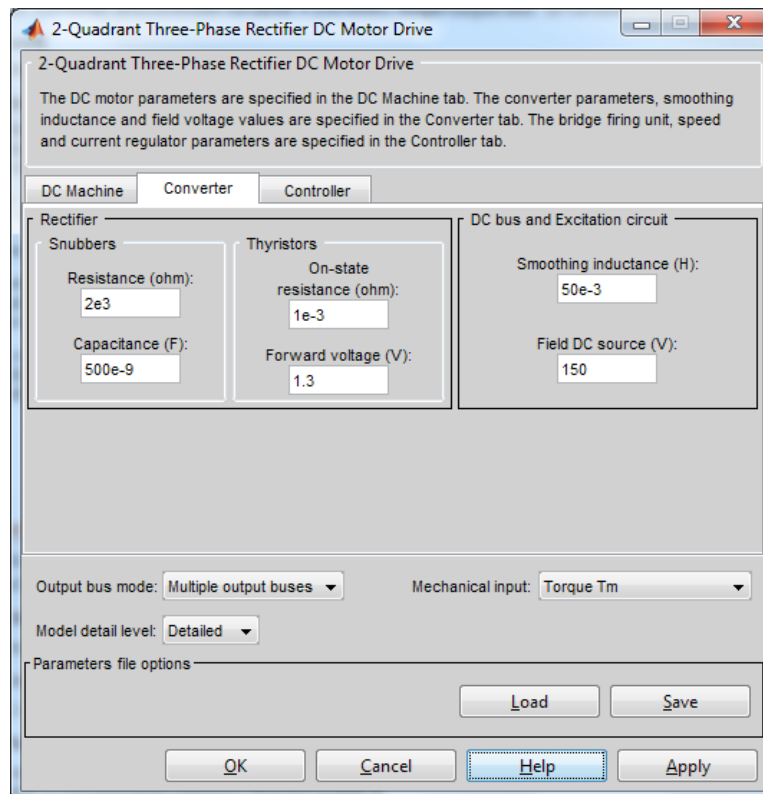
$$T_e = J \frac{d}{dt} \omega_r + F \omega_r + T_m \quad (6.8)$$

6.8 ekuazioan adierazten den sistema mekanikoa motorraren modeloan dago

Abiadura aukeratzten bada, irteera pare elektromagnetikoa izango da, kanpotik sistema mekanikoaren dinamika adierazteko aukera ematen duelarik. Barne-sistema mekanikoa ez da sarrera mekanikoko aukeraketa honekin erabiltzen, eta inertzia eta biskositate-marruskadura parametroak ez dira agertzen.

Errotazio mekanikoa aukeratzten bada, S konexio atala sarrera eta irteera mekanikoarentzat izango da. Simscape beste atalekiko konexioa ahalbidetzen du. Motorraren sistema mekanikoa unitate berean dago, eta 6.8 ekuazio diferentzian oinarritzen da

Converter



6.6. IRUDIA

Converter atala Model detail level "Detailed" denean

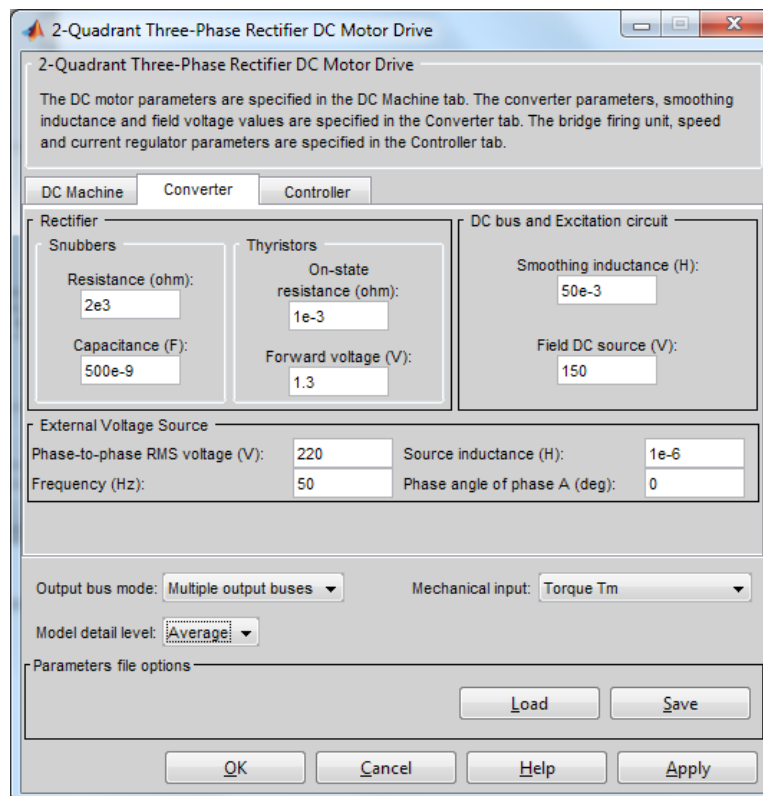
RECTIFIER ATALA

Atal honetan bibliotekako Fundamental Blocks ataleko Universal Bridge (zubi unibertsal) blokearen parametroak zehazten dira. Parametro horiei dagozkien datu gehiago Universal Bridge blokean zehazten dira.

DC BUS AND EXCITACION CIRCUIT ATALA

Smoothing Inductance: leuntze-induktantziaren balioa (H).

Field DC Source: DC motorraren kitzikapen-tentsioaren balioa (V).



6.7. IRUDIA

Converter atala Model detail level “Average” denean**EXTERNAL VOLTAGE SOURCE ATALA**

Phase-to-Phase RMS Voltage: eragingailura konektaturiko sorgailu trifasikoaren rms tentsioa (V)

Frequency: eragingailura konektaturiko sorgailu trifasikoaren maiztasuna (Hz)

Source Inductance: eragingailura konektaturiko sorgailu trifasikoaren induktantzia (H)

Phase Angle of Phase A: eragingailura konektaturiko sorgailu trifasikoaren fase-angelua (deg)

Controller

SCHEMATIC BUTTON

Abiadura- eta korrante-kontroladorearen bloke-diagramak ikusteko.

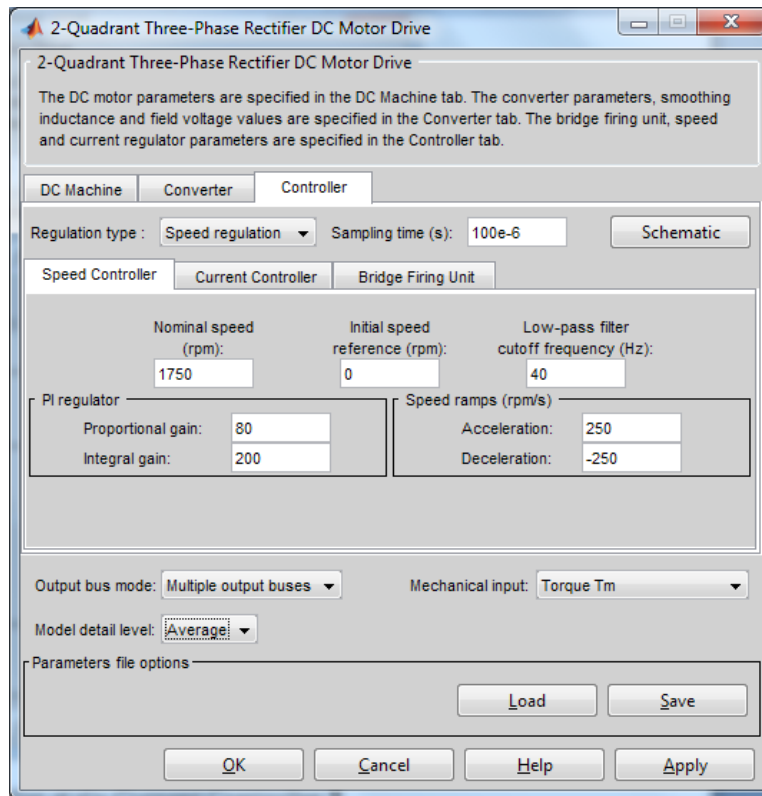
REGULATION TYPE

Abiadura- edo pare-erregulazioa aukeratzeko

SAMPLING TIME

Kontroladorearen (abiadura eta korrante) laginketa-denbora (s). Simulazio-denborak urratsaren multiploa izan behar du.

Controller – Speed Controller



6.8. IRUDIA

Controller atala: Speed Controller

Nominal Speed: DC motorren abiadura izendatua (rpm). Balio hau motorren abiadura rpm-tatik pu-etara aldatzeko erabiltzen da.

Initial Speed Reference: hasierako erreferentzia-abiadura (rpm). 0 rpm ez den balio batekin hasieratzeko simulazioa.

Low-Pass Filter Cutoff Frequency: motorraren abiadura neurtzean erabiltzen den iragazkia-ren mozte-maiztasuna.

PI REGULATOR

Proportional Gain: PI abiadura-erreguladorearen irabazi proportzionala.

Integral Gain: PI abiadura-erreguladorearen irabazi integrala.

SPEED RAMPS

Acceleration: motorraren azelerazio-tartean abiadura-aldaketa maximoa (rpm/s). Balio altuek gainkorronteak eragin ditzakete.

Deceleration: motorraren deszelerazio-tartean abiadura-aldaketa maximoa (rpm/s). Balio altuek gainkorronteak eragin ditzakete.

Controller — Current Controller Subtab

6.9. IRUDIA

Controller atala: Current Controller

NOMINAL VALUES

Power and Voltage nominal values: DC motorraren potentzia izendatua (W) eta tentsio izendatua (V).

PI REGULATOR

Proportional Gain: PI korrante-erreguladorearen irabazi proportzionala.

Integral Gain: PI korrante-erreguladorearen irabazi integrala.

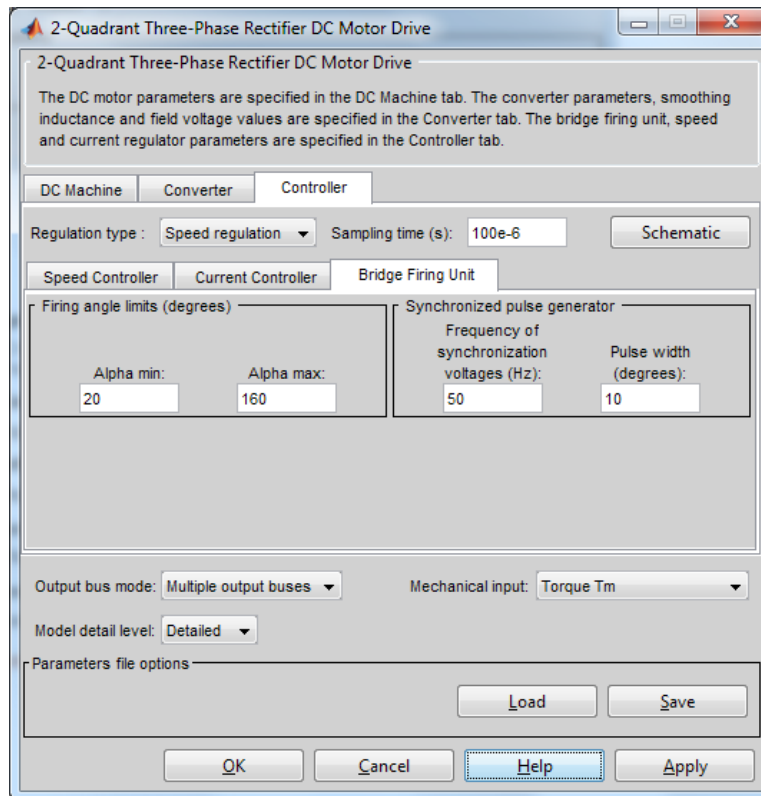
LOW-PASS FILTER CUTOFF FREQUENCY

Motorraren korronea neurtzean erabiltzen den iragazkiaren mozte-maiztasuna (Hz)

REFERENCE LIMIT

Erreferentzia-korrone maximoa (pu). Ohikoa 1.5 pu.

Controller — Bridge Firing Unit Subtab



6.10. IRUDIA

Controller atala: Bridge Firing Unit

FIRING ANGLE LIMITS

Alpha Min: desarra-angelu minimoa (deg). Ohikoa 20 deg.

Alpha Max: desarra-angelu maximoa (deg.). Ohikoa 160 deg.

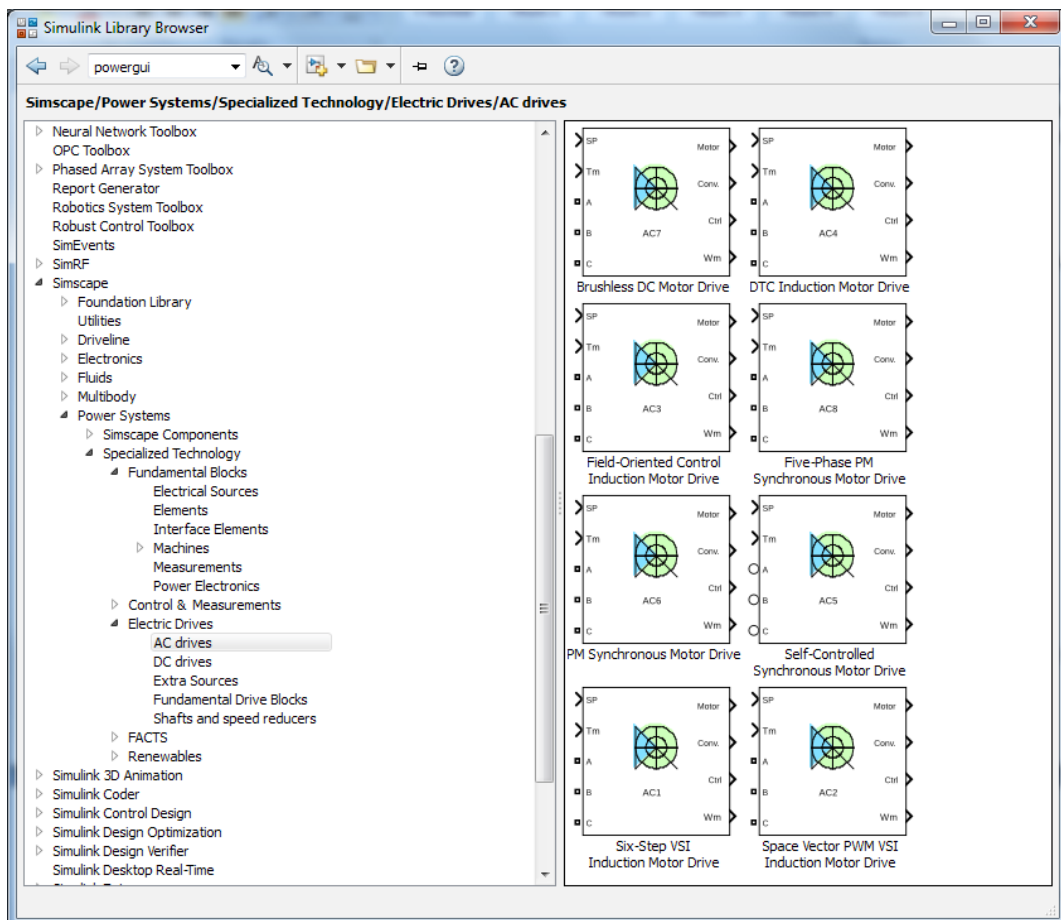
SYNCHRONIZED PULSE GENERATOR

Frequency of synchronization voltages: 6-pultsu sorgailuaren bloke diskretu sinkronizatuak erabiltzen duen sinkronizazio-tentsioen maiztasuna (Hz). Potentzia-linea trifasikoaren maiztasunaren berdina.

Pulse Width: sei tiristoreen ateetan aplikaturiko pultsuen zabalera (deg).

6.3. AC MOTOR DRIVE SIMULAZIOA

Atal honetan Simulink-en Electric Drives bibliotekako AC drive modeloak aztertuko ditugu. Bibliotekan sei modelo daude: AC1-etik AC6-ra. AC1-etik AC4-ra indukzio-motor trifasikoan oinarritzen dira. Motor horrek estatorean harilkatu trifasikoa dauka, eta errotorea urtxintxa-kaio-lako errotorea da. AC5 modeloa errotore harilkatuko motorrean oinarritzen da, eta AC6 iman iraunkorreko motor sinkronoan. Sei modeloetan erabiltzen den inbertsorea tentsio-sorgailuko inbertsorea da (voltage source inverter edo VSI), inbertsorea korrante zuzen konstantez elikatzen delako. Tentsio konstante hori kontrolatu gabeko diodo aztergailuko zubi eta kondentsadore batek ematen du (capacitive DC bus voltage)



6.11. IRUDIA

AC Drive atala Simulink-en

BALAZTATZE DINAMIKOA

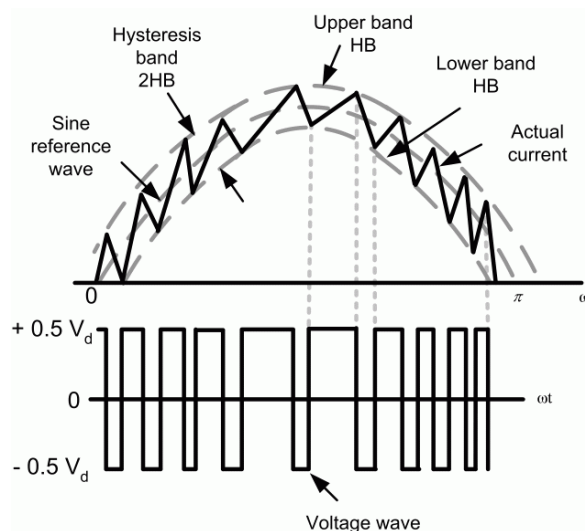
DC bus-a diodo-aztergailuak emandakoa denean, eragingailuak ez dauka noranzko biko energia bideratzeko ahalmenik, eta ez da egongo balaztatze birsortzailerik. AC1, AC2, AC3, AC4, eta AC6 modeloetan, chopper batekin seriean dagoen erresistentzia batek motor-karga sistemaren balaztatzea segurtatzen du. Hau balaztatze dinamiko deitzen da. DC bus-arekin paraleloan kokatzen da, motorraren desazelerazioan gaintentsioak saihesteko. Balaztatze dinamikoarekin motor-karga sistemaren energia zinetikoa balazta-erresistentzian xahutzen den beroa bihurtzen da.

MODULAZIO-TEKNIKAK

AC drive modeloetan erabiltzen den VSI inbertsorea modulazio mota bitan oinarritzen da, histeresi-modulazioan eta espazio-bektore pulsu-zabalerazko modulazioan (pulse width modulation edo PWM).

Histeresei-modulazioa berrelikadura-korrontearen kontrolaren metodoa da; motorraren korronteak erreferentzia-korronteari jarraitzen dio histeresi-tarte batean. Kontroladoreak nahi den magnitudeko eta maiztasuneko erreferentzia-korronte sinusoidala sortzen du, eta korronte hori motorraren lineako korronte errealekin konparatzen da. Korronteak histeresi-tartearen goiko muga gainditzen badu, inbertsorearen behe-etengailua *off* egongo da eta goikoa *on*. Ondorioz, korrontea berriro histeresi-tartean kokatzen da, eta korronte erreala erreferentzia-korronteari jarraitzaera derrigortzen da histeresi-tartearen barnean.

6.12. irudian histeresi-modulazioaren printzipioa erakusten da.



6.12. IRUDIA

Histeresi-modulazio printzipioaren adibidea

Eragingailu horien modeloak aztertzeko, Simulink-eko bibliotekara jo behar da, eta kasu baikoitzean behar den eragingailua hautatu eta parametroak zehaztu. Kontuan izan behar da bloke horiek osatzen dituzten azpiblokeak makina, bihurgailua eta kontroladorea izango direla.

6.13 eta 6.14 irudietan, blokeen adibideak dituzu.

Field-Oriented Control Induction Motor Drive

The AC motor parameters are specified in the AC Machine tab. The braking chopper, the diode rectifier and the inverter switches parameters are specified in the Converter and DC bus tab. F.O.C. and speed controller parameters are specified in the Controller Tab.

Asynchronous Machine Converters and DC bus Controller

Electrical parameters

Reference frame:

Discretization method:

Nominal values

Power (VA):	Voltage (Vrms):	Frequency (Hz):
<input type="text" value="2238"/>	<input type="text" value="220"/>	<input type="text" value="60"/>

Equivalent circuit values

	Resistance (ohm):	Leakage inductance (H):	Mutual inductance (H):
Stator:	<input type="text" value="0.435"/>	<input type="text" value="2e-3"/>	<input type="text" value="69.31e-3"/>
Rotor:	<input type="text" value="0.816"/>	<input type="text" value="2e-3"/>	

Initial currents

	Phase A:	Phase B:	Phase C:
Magnitude (A):	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Phase (deg):	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

Mechanical parameters

Rotor values

Inertia (kg*m ²):
<input type="text" value="0.089"/>
Friction (N-m-s):
<input type="text" value="0.005"/>
Pole pairs:
<input type="text" value="2"/>

Initial values

Slip:
<input type="text" value="1"/>
Angle (deg):
<input type="text" value="0"/>

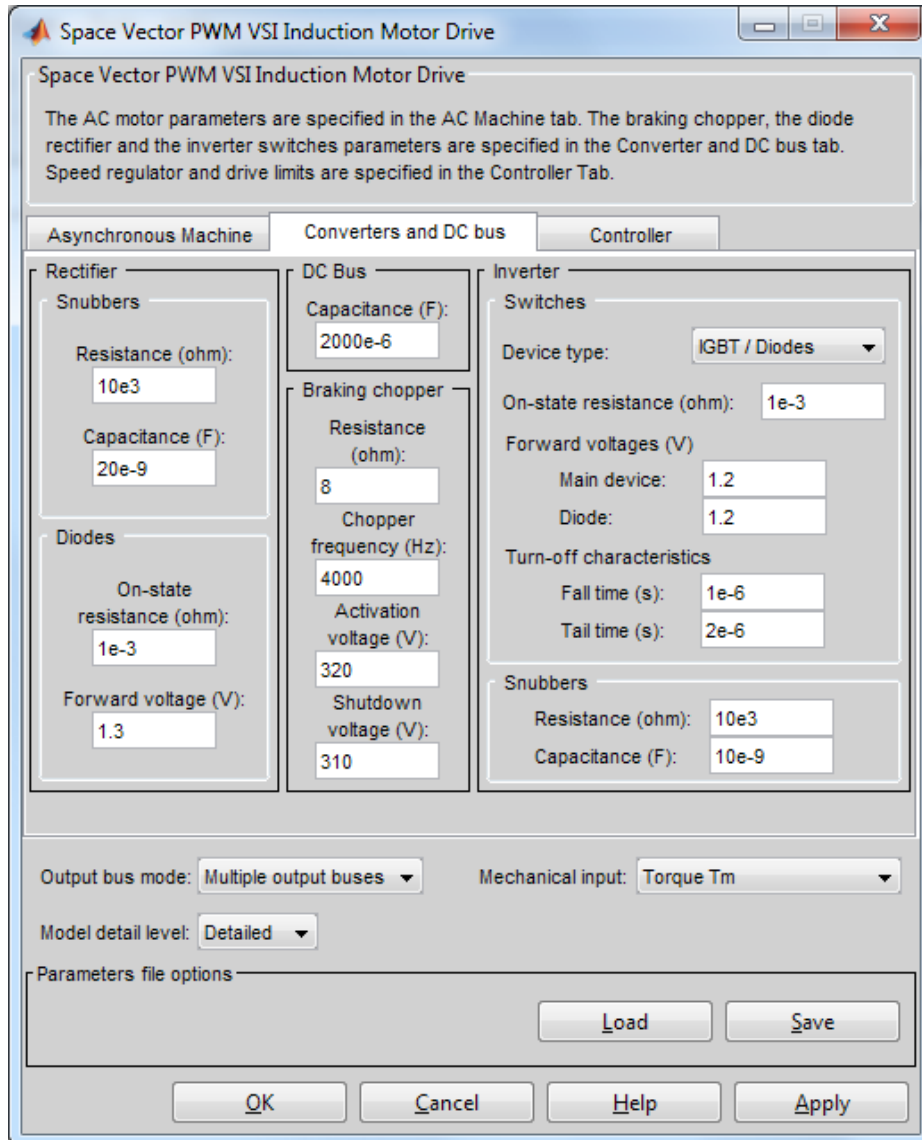
Output bus mode: Mechanical input:

Model detail level:

Parameters file options

6.13. IRUDIA

Field-Oriented Control Induction Motor Drive blokearen parametroak



6.14. IRUDIA

Space Vector PWM VSI Induction Motor Drive blokearen parametroak

OHARRA: dokumentu hau egiteko Matlab R2016a programa eta dagozkion Simulink-eko blokeak erabili dira. Adibide gisa erabiltzen diren irudiak eta modeloak programa horretan oinarriturik daude.