Universidad Zaragoza
1542

Proyecto Fin de Carrera

Control vectorial en modo tensión de un motor asíncrono

Autor

Alberto Pueyo Gimeno

ANEXOS

Director

Abelardo Martínez Iturbe

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2013

Repositorio de la Universidad de Zaragoza – Zaguan http://zaguan.unizar.es

ÍNDICE

ANEXO I **HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LA PLATAFORMA PARA EL CONTROL DEL MOTOR ASÍNCRONO.....2**

ANEXO II **CONFIGURACIÓN Y CONEXIONADO DE LOS COMPONENTES DE LA PLATAFORMA.....12**

ANEXO III **DESARROLLO DE LOS ALGORITMOS DE CONTROL. CÓDIGO MATHCAD 25**

ANEXO IV **DESCRIPCIÓN DE LOS BLOQUES DEL SISTEMA 34**

ANEXO V **JUSTIFICACIÓN ALGORITMO SVPWM.....44**

ANEXO VI **PROTOCOLO DE PUESTA EN MARCHA DE LA PLATAFORMA Y DEL CONTROL.....47**

LISTADO DE TABLAS Y FIGURAS DE LOS ANEXOS 50

ANEXO I HOJAS DE CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LA PLATAFORMA PARA EL CONTROL DEL MOTOR ASÍNCRONO.

HOJA DE CARACTERÍSTICAS DE LA TARJETA DS1103

Parameter		Specification	
		As of Board Revision DS1103-09	Up to Board Revision DS1103-07
Timer	2 general-purpose timers	▪ One 32-bit down counter ▪ Reload by software ▪ 15 ns resolution	▪ 30 ns resolution
		▪ One 32-bit up counter with compare register ▪ Reload by software ▪ 30 ns resolution	▪ 60 ns resolution
	1 sample rate timer (decrementer)	▪ 32-bit down counter ▪ Reload by software ▪ 30 ns resolution	▪ 60 ns resolution
	1 time base counter	▪ 64-bit up counter ▪ 30 ns resolution	▪ 60 ns resolution
Interrupt controller		Interrupt controller with 20 interrupt sources: ▪ 3 timer interrupts ▪ 7 incremental encoder index line interrupts ▪ 1 UART interrupt ▪ 1 CAN interrupt ▪ 1 slave DSP interrupt ▪ 2 slave DSP PWM interrupts ▪ 1 host interrupt ▪ 4 external interrupts (user interrupts)	

Parameter		**Specification**	
		As of Board Revision DS1103-09	**Up to Board Revision DS1103-07**
Timer	2 general-purpose timers	■ One 32-bit down counter ■ Reload by software ■ 15 ns resolution	■ 30 ns resolution
		■ One 32-bit up counter with compare register ■ Reload by software ■ 30 ns resolution	■ 60 ns resolution
	1 sample rate timer (decrementer)	■ 32-bit down counter ■ Reload by software ■ 30 ns resolution	■ 60 ns resolution
	1 time base counter	■ 64-bit up counter ■ 30 ns resolution	■ 60 ns resolution
Interrupt controller		Interrupt controller with 20 interrupt sources: ■ 3 timer interrupts ■ 7 incremental encoder index line interrupts ■ 1 UART interrupt ■ 1 CAN interrupt ■ 1 slave DSP interrupt ■ 2 slave DSP PWM interrupts ■ 1 host interrupt ■ 4 external interrupts (user interrupts)	

Parameter		Specification	
		As of Board Revision DS1103-09	**Up to Board Revision DS1103-07**
ADCs (muxed)	Channels	■ 16 muxed channels equipped with 4 sample & hold ADCs (4 channels belong to one ADC. 4 consecutive samplings are necessary to sample all channels belonging to one ADC.) ■ Note: 8 ADC channels (4 x muxed + 4 x parallel) can be sampled simultaneously.	
	Resolution	16 bit	
	Input voltage range	±10 V	
	Overvoltage protection	±15 V	
	Conversion time	1 µs	4 µs
	Offset error	±5 mV	
	Gain error	±0.25%	
	Offset drift	40 µV/K	
	Gain drift	50 ppm/K	
	Signal-to-noise-ratio	>83 dB	>80 dB
ADCs (parallel)	Channels	■ 4 parallel channels each equipped with one sample & hold ADC ■ Note: 8 ADC channels (4 x muxed + 4 x parallel) can be sampled simultaneously	
	Resolution	16 bit	12 bit
	Input voltage range	±10 V	
	Overvoltage protection	±15 V	
	Conversion time	800 ns	
	Offset error	±5 mV	
	Gain error	±0.25%	±0.5%
	Offset drift	40 µV/K	
	Gain drift	50 ppm/K	
	Signal-to-noise-ratio	>83 dB	>65 dB

Parameter		**Specification**	
		As of Board Revision DS1103-09	**Up to Board Revision DS1103-07**
DACs	Channels	8 channels	
	Resolution	16 bit	14 bit
	Output range	±10 V	
	Settling time	5 µs (14 bit)	5 µs (12 bit)
	Offset error	±1 mV	
	Gain error	±0.5%	
	Offset drift	30 µV/K	
	Gain drift	25 ppm/K	
	Signal-to-noise-ratio	>83 dB	>78 dB
	I_{max}	±5 mA	
	C_{Imax}	10 nF	
Digital I/O	Channels	■ 32-bit parallel I/O ■ Organized in four 8-bit groups ■ Each 8-bit group can be set to input or output (programmable by software)	
	Voltage range	TTL input/output levels	
	I_{outmax}	±10 mA	
Digital Incremental Encoder interface	Channels	■ 6 independent channels ■ Single-ended (TTL) or differential (RS422) input (software programmable for each channel)	
	Position counters	■ 24-bit resolution ■ Max. 1.65 MHz input frequency, i.e. fourfold pulse counts up to 6.6 MHz ■ Counter reset or reload via software	
	Encoder supply voltage	■ 5 V/1.5 A ■ Shared with analog incremental encoder interface	
Physical size		■ 340 x 125 x 45 mm (13.4 x 4.9 x 1.77 in) ■ The board requires one length PC/AT ISA slot and three brackets	
Ambient temperature		0 … 50 °C (32 … 122 °F)	
Cooling		Passive cooling	Active cooling by fan
Power supply		■ +5 V ±5 %, 4 A ■ +12 V ±5 %, 0.75 A ■ −12 V ±5 %, 0.25 A	■ +5 V ±5 %, 6 A ■ +12 V ±5 %, 0.75 A ■ −12 V ±5 %, 0.25 A

Parameter		Specification	
		As of Board Revision DS1103-09	**Up to Board Revision DS1103-07**
Analog incremental encoder interface	Channels	■ 1 channel ■ Sinusoidal signals: 1 V_{pp} differential or 11 μA_{pp} differential (software programmable)	
	Position counters	■ < 5° resolution ■ 32-bit loadable position counter ■ Max. 0.6 MHz input frequency, i.e. fourfold pulse counts up to 2.4 MHz	
	ADC performance	■ 6-bit resolution ■ 10 MSPS	
	Encoder supply voltage	■ 5 V/1.5 A ■ Shared with digital incremental encoder interface	
CAN interface	Configuration	■ 1 channel based on SAB 80C164 microcontroller ■ ISO DIS 11898-2 CAN High-speed standard	
	Baud rate	Max. 1 Mbit/s	
Serial interface	Configuration	■ TL16C550C single UART (universal asynchronous receiver and transmitter) with FIFO ■ RS232/RS422 compatibility	
	Baud rate	■ Up to 115.2 kBd (RS232) ■ Up to 1 MBd (RS422)	
Slave DSP	Type	Texas Instruments TMS320F240 DSP	
	Clock rate	20 MHz	
	Memory	■ 64Kx16 external code memory ■ 28Kx16 external data memory ■ 4Kx16 dual-port memory for communication ■ 32 KB flash memory	
	I/O channels	■ 16 ADC inputs ■ 12 PWM outputs ■ 4 capture inputs ■ 2 serial ports	
	Input voltage range	■ TTL input/output level ■ ADC inputs: 0 … 5 V	
	Output current	Max. ±13 mA	
Host interface		■ Eight 16-bit I/O ports in the 64K host I/O space ■ Processor/host and host/processor interrupts ■ Plug-and-Play support	

HOJA DE CARACTERÍSTICAS DE LA CAJA DE CONEXIONES CP1103

Parameter	Specifications
Grounding	The enclosure and the front panel are not grounded.
Cable length	2 m (6.6 ft) standard
Physical size (with desktop enclosure) (length x depth x height)	433.5 x 142.5 x 70 mm (17.07 x 5.61 x 2.75 in)
Space needed for 19" rack mount	Height 3 U; width 16.8"
Weight	Approx. 3.8 kg (8.4 lbs); incl. enclosure and shielded ribbon cables

HOJA DE CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES DE INTENSIDAD

LEM

Current Transducers HY 5..25-P

I_{PN} = 5 .. 25 A

For the electronic measurement of currents : DC, AC, pulsed, mixed, with a galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).

Electrical data

Primarynominal current rms I_{PN} (A)	Primary current, measuring range I_{PM} (A)	Primary conductor (mm)	Type	RoHS since date code
5	± 15	Ø 0.7	**HY 5-P**	45260
10	± 30	Ø 1.1	**HY 10-P**	45266
12.5	± 37.5	Ø 1.4	**HY 12-P**	45264
15	± 45	Ø 1.4	**HY 15-P**	45276
20	± 60	2 x Ø 1.2 [1]	**HY 20-P**	46097
25	± 75	2 x Ø 1.4 [1]	**HY 25-P**	45269

V_C	Supply voltage (± 5 %) [6]	± 12 .. 15	V
I_C	Current consumption	± 10	mA
$\hat{I}_P$	Overload capability (1 ms)	50 x I_{PN}	
V_d	Rms voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 min	2.5	kV
V_b	Rated isolation voltage rms	500 [2]	V
R_{IS}	Isolation resistance @ 500 VDC	> 1000	MΩ
V_{OUT}	Output voltage (Analog) @ +I_{PN}, R_L = 10 kΩ, T_A = 25°C	± 4	V
R_{OUT}	Output internal resistance	100	Ω
R_L	Load resistance	> 1	kΩ

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ I_{PN}, T_A = 25°C (excluding offset)		< ± 1	%
ε_L	Linearity error [3] (0 .. ± I_{PN})		< ± 1	% of I_{PN}
V_{OE}	Electrical offset voltage@ T_A = 25°C		< ± 40	mV
V_{OH}	Hysteresis offset voltage @ I_P = 0; after an excursion of 1 x I_{PN}		< ± 15	mV
TCV_{OE}	Temperature coefficient of V_{OE}	typ.	± 1.5	mV/K
		max.	± 3	mV/K
TCV_{OUT}	Temperature coefficient of V_{OUT} (% of reading)		< ± 0.1	%/K
t_r	Response time to 90% of I_{PN} step		< 3	µs
di/dt	di/dt accurately followed		> 50	A/µs
BW	Frequency bandwidth [4] (- 3 dB)		DC .. 50	kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature	- 10 .. + 80	°C
T_S	Ambient storage temperature	- 25 .. + 85	°C
m	Mass	< 14	g
	Standards [5]	EN 50178: 1997	

Notes : [1] Conductor terminals are soldered together.
[2] Pollution class 2, overvoltage category III.
[3] Linearity data exclude the electrical offset.
[4] Please refer to derating curves in the technical file to avoid excessive core heating at high frequency.
[5] Please consult characterisation report for more technical details and application advice.
[6] Operating at ±12V ≤ Vc < ±15V will reduce measuring range.

Features

- Hall effect measuring principle
- Galvanic isolation between primary and secondary circuit
- Isolation voltage 2500 V~
- Compact design for PCB mounting
- Low power consumption
- Extended measuring range (3 x I_{PN})
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Easy mounting
- Small size and space saving
- Only one design for wide current ratings range
- High immunity to external interference.

Applications

- Static converters for DC motor drives
- Switched Mode Power Supplies (SMPS).
- AC variable speed drives
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Battery supplied applications
- General purpose inverters

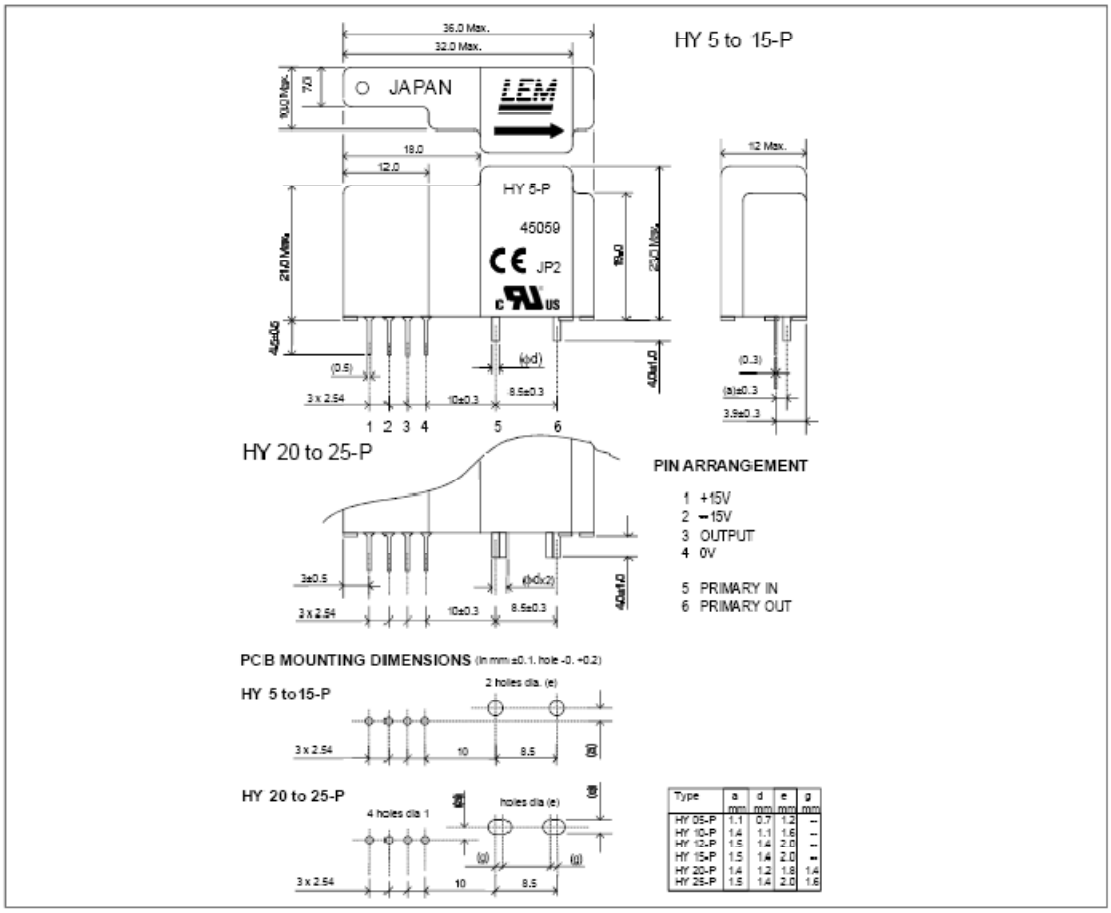
Application domain

- Industrial

Page 1/2

061027/8 LEM reserves the right to carry out modifications on its transducers, in order to improve them, without prior notice. www.lem.com

Dimensions HY 5..25-P (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)



Type	a mm	d mm	e mm	g mm
HY 05-P	1.1	0.7	1.2	--
HY 10-P	1.4	1.1	1.6	--
HY 12-P	1.5	1.4	2.0	--
HY 15-P	1.5	1.4	2.0	--
HY 20-P	1.4	1.2	1.6	1.4
HY 25-P	1.5	1.4	2.0	1.6

Safety

This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the following manufacturer's operating instructions.

Caution, risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply). Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage.
This transducer is a built-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation.
A protective housing or additional shield could be used.
Main supply must be able to be disconnected.

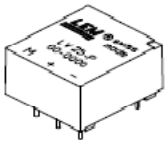
HOJA DE CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE TENSIÓN

LEM

Voltage Transducer LV 25-P

For the electronic measurement of voltages : DC, AC, pulsed..., with a galvanic isolation between the primary circuit (high voltage) and the secondary circuit (electronic circuit).

I_{PN} = 10 mA
V_{PN} = 10 .. 500 V



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal r.m.s. current		10		mA
I_P	Primary current, measuring range		0 .. ± 14		mA
R_M	Measuring resistance		$R_{M\,min}$	$R_{M\,max}$	
	with ± 12 V	@ ± 10 mA $_{max}$	30	190	Ω
		@ ± 14 mA $_{max}$	30	100	Ω
	with ± 15 V	@ ± 10 mA $_{max}$	100	350	Ω
		@ ± 14 mA $_{max}$	100	190	Ω
I_{SN}	Secondary nominal r.m.s. current		25		mA
K_N	Conversion ratio		2500 : 1000		
V_C	Supply voltage (± 5 %)		± 12 .. 15		V
I_C	Current consumption		10 (@ ± 15 V) + I_S		mA
V_d	R.m.s. voltage for AC isolation test [1], 50 Hz, 1 mn		2.5		kV

Accuracy - Dynamic performance data

X_G	Overall Accuracy @ I_{PN}, T_A = 25°C	@ ± 12 .. 15 V	± 0.9		%
		@ ± 15 V (± 5 %)	± 0.8		%
ε_L	Linearity		< 0.2		%
			Typ	Max	
I_O	Offset current @ I_P = 0, T_A = 25°C			± 0.15	mA
I_{OT}	Thermal drift of I_O	0°C .. + 25°C	± 0.06	± 0.25	mA
		+ 25°C .. + 70°C	± 0.10	± 0.35	mA
t_r	Response time [2] @ 90 % of $V_{P\,max}$		40		µs

General data

T_A	Ambient operating temperature	0 .. + 70	°C
T_S	Ambient storage temperature	- 25 .. + 85	°C
R_P	Primary coil resistance @ T_A = 70°C	250	Ω
R_S	Secondary coil resistance @ T_A = 70°C	110	Ω
m	Mass	22	g
	Standards [3]	EN 50178	

Notes : [1] Between primary and secondary
[2] R_1 = 25 kΩ (L/R constant, produced by the resistance and inductance of the primary circuit)
[3] A list of corresponding tests is available

Features

- Closed loop (compensated) voltage transducer using the Hall effect
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Principle of use

- For voltage measurements, a current proportional to the measured voltage must be passed through an external resistor R_1 which is selected by the user and installed in series with the primary circuit of the transducer.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

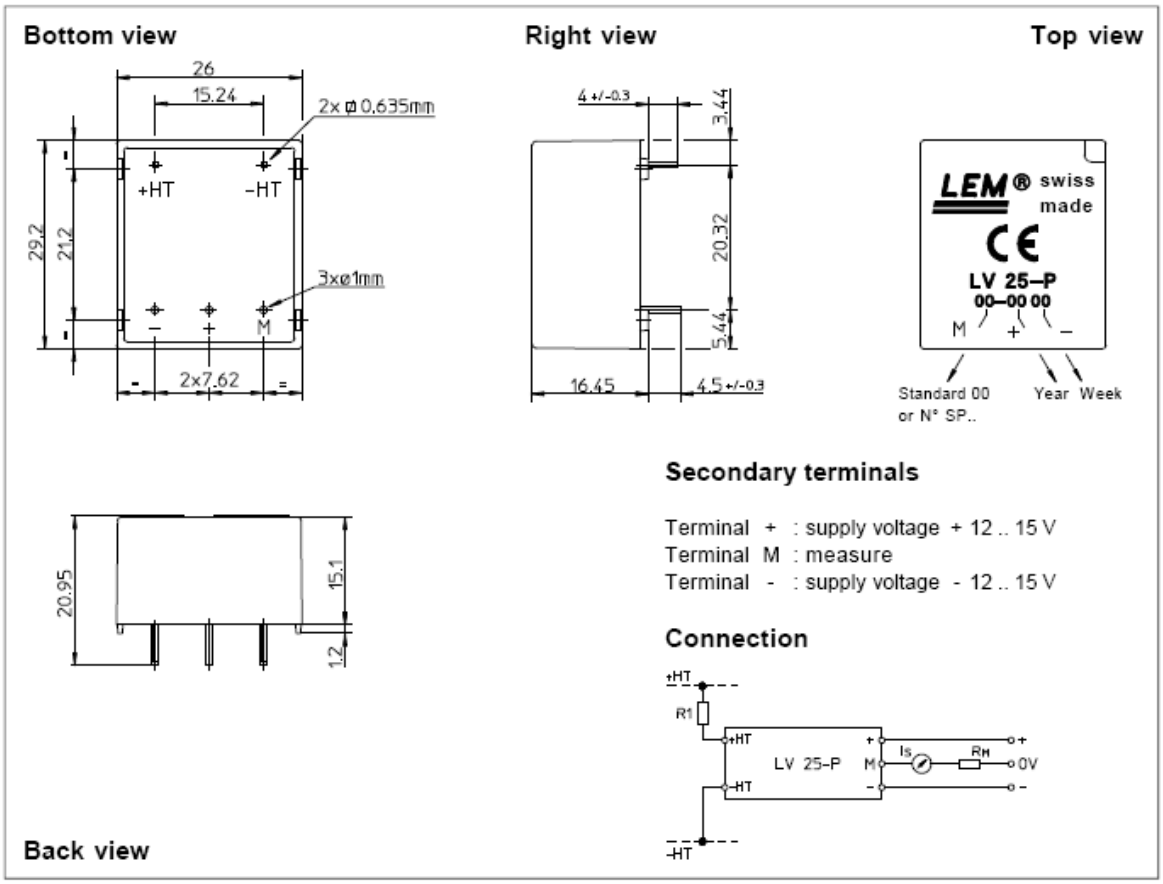
Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Power supplies for welding applications.

981125/14

LEM Components www.lem.com
Tope Co., Ltd. Tel: (02) 8228-0658 Fax: (02) 8228-0659 http://www.sensor.com.tw e-mail: tope@ms1.hinet.net

Dimensions LV 25-P (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)



Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Fastening & connection of primary 2 pins 0.635 x 0.635 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins ∅ 1 mm
- Recommended PCB hole 1.2 mm

Remarks

- I_S is positive when V_P is applied on terminal +HT.
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.

Instructions for use of the voltage transducer model LV 25-P

Primary resistor R_1 : the transducer's optimum accuracy is obtained at the nominal primary current. As far as possible, R_1 should be calculated so that the nominal voltage to be measured corresponds to a primary current of 10 mA.

Example: Voltage to be measured V_{PN} = 250 V
a) R_1 = 25 kΩ / 2.5 W, I_P = 10 mA Accuracy = ± 0.8 % of V_{PN} (@ T_A = +25°C)
b) R_1 = 50 kΩ / 1.25 W, I_P = 5 mA Accuracy = ± 1.6 % of V_{PN} (@ T_A = +25°C)

Operating range (recommended) : taking into account the resistance of the primary windings (which must remain low compared to R_1 in order to keep thermal deviation as low as possible) and the isolation, this transducer is suitable for measuring nominal voltages from 10 to 500 V.

LEM reserves the right to carry out modifications on its transducers, in order to improve them, without previous notice.

ANEXO II CONFIGURACIÓN Y CONEXIONADO DE LOS COMPONENTES DE LA PLATAFORMA

En este siguiente anexo se procede a describir el esquema de conexiones de cada elemento que compone la plataforma. Como muestra la Fig. 1, la plataforma está compuesta por 12 elementos (PC, Tarjeta DS1103, Inversor del motor síncrono, Inversor del motor de inducción, Motor síncrono, Motor de inducción, Sensores de intensidad y tensión, Adaptador de niveles de tensión, Auto transformador, Contactor de seguridad, Resistencias de frenado y tarjeta de optoaclopadores).

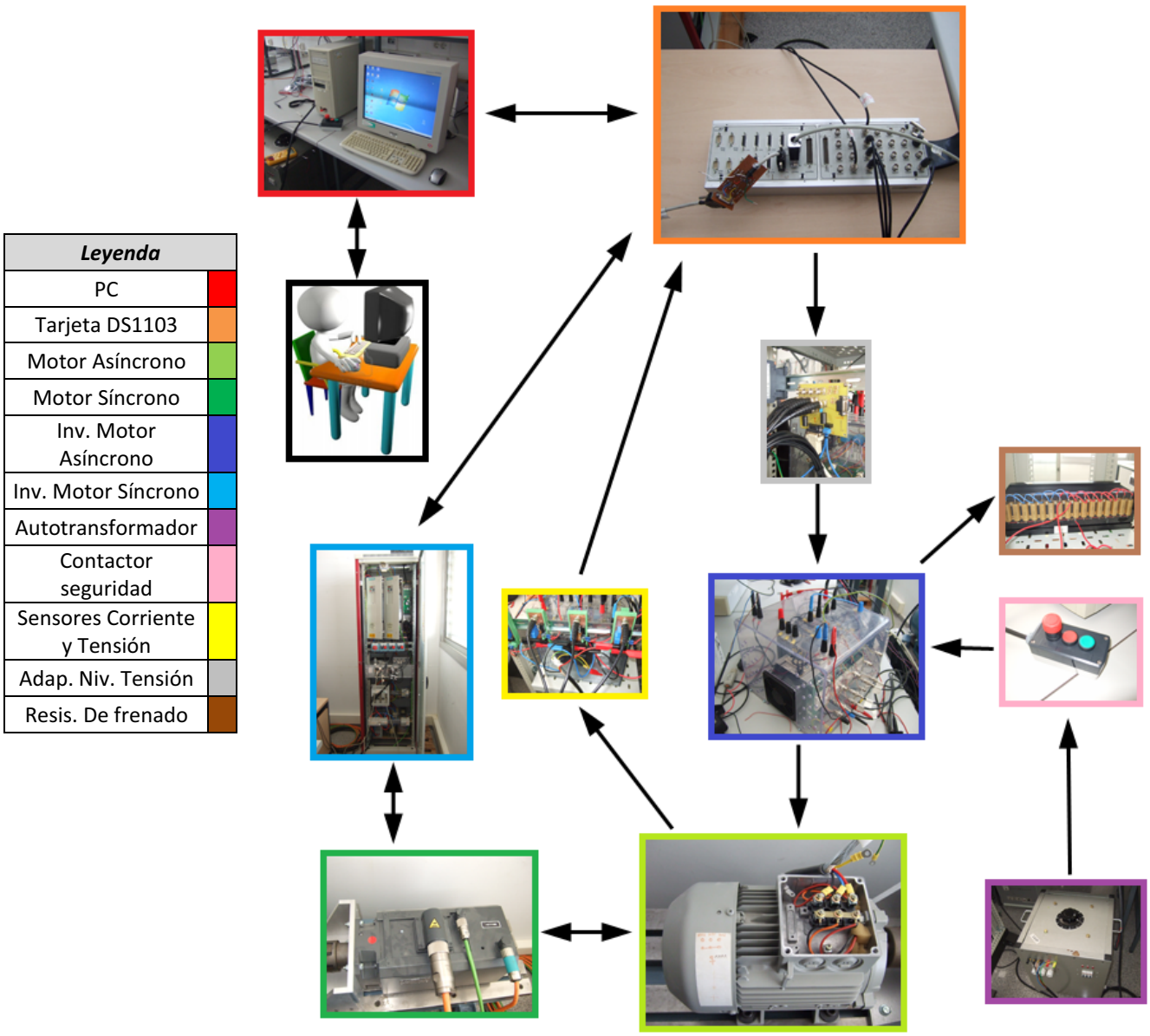


Fig.1 Esquema de componentes y de interconexionado de la plataforma

Esquema de conexiones del PC, ver Tabla I

Tabla I Esquema de conexiones del PC

PC

Leyenda
PC
Tarjeta DS1103
Motor Asíncrono
Motor Síncrono
Inv. Motor Asíncrono
Inv. Motor Síncrono
Autotransformador
Contactor seguridad
Sensores Corr. y Ten.
Adap. Niv. Tensión
Resis. de frenado

Entradas				
Número	Conector	Señal	Rango	Procedencia
1	Fase/neutro	Tensión	220V	Red eléctrica
2	Teclado/ratón	Comandos	—	Usuario
Salidas				
Número	Conector	Señal	Rango	Destino
1	Bus de datos	Óptica	—	Tarjeta DS1103

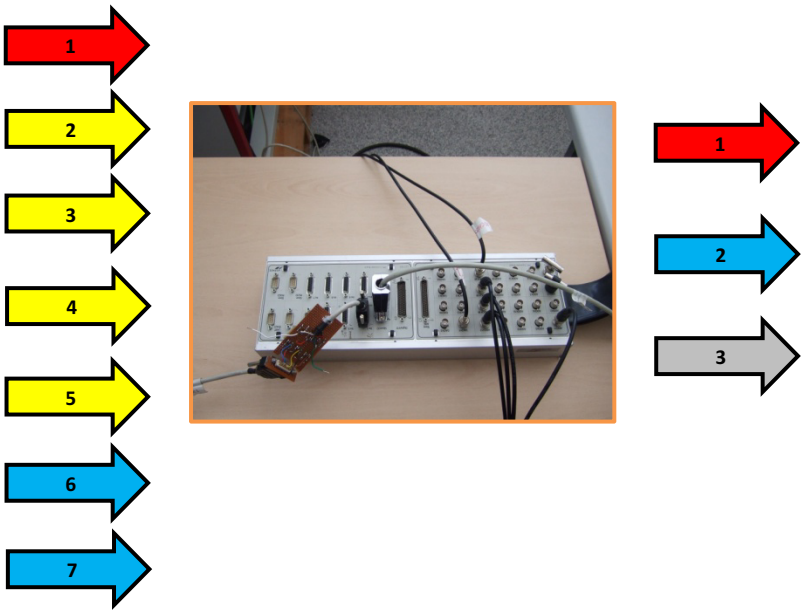
Configuración del PC

El Pc utiliza el sistema operativo "Windows 7" y tiene instalada la versión 2011b de "Matlab" con el paquete "Real Time Workshop". Contiene además una instalación completa de todo el software suministrado por "Dspace" para la tarjeta DS1103, el cual carga una serie de librerías específicas de la tarjeta en "Matlab/Simulink".

Esquema de conexiones de la tarjeta DS1103, ver Tabla II.

Tabla II Esquema de conexiones de la tarjeta DS1103

Tarjeta DS1103



Leyenda
PC
Tarjeta DS1103
Motor Asíncrono
Motor Síncrono
Inv. Motor Asíncrono
Inv. Motor Síncrono
Autotransformador
Contactor seguridad
Sensores Corr. y Ten.
Adap. Niv. Tensión
Resis. de frenado

Entradas					
Número	Conector	Señal	Rango	Procedencia	Utilidad
1	Bus de datos	Óptica	—	PC	Control y visualización de señales
2	BNC/ADCH17	Analógica	10…-10V	Sensor Corr.	Medida intensidad
3	BNC/ADCH18	Analógica	10…-10V	Sensor Corr.	Medida intensidad
4	BNC/ADCH19	Analógica	10…-10V	Sensor Corr.	Medida intensidad
5	BNC/ADCH1	Analógica	10…-10V	Sensor Ten.	Medida tensión bus
6	BNC/ADCH20	Analógica	10…-10V	Inv.motor síncrono	Medida par generado
7	INC 1	TTL	0…5V	Optoacopladores	Medida velocidad
Salidas					
Número	Conector	Señal	Rango	Destino	Utilidad
1	Bus de datos	Óptica	—	PC	Control y visualización de señales
2	BNC/DACH1	Analógica	Rango	Inversor motor síncrono	Referencia de par motor síncrono
3	Slave I/O	TTL PWM	0..5V	Tarjeta Adaptadores de tensión	Señales de disparo IGBTs y res. de frenado

A continuación se muestran las configuraciones de los conectores y los pines de las señales en el conector CP1103.

En la Fig.2 se muestra un esquema de las conexiones de la caja CP1103

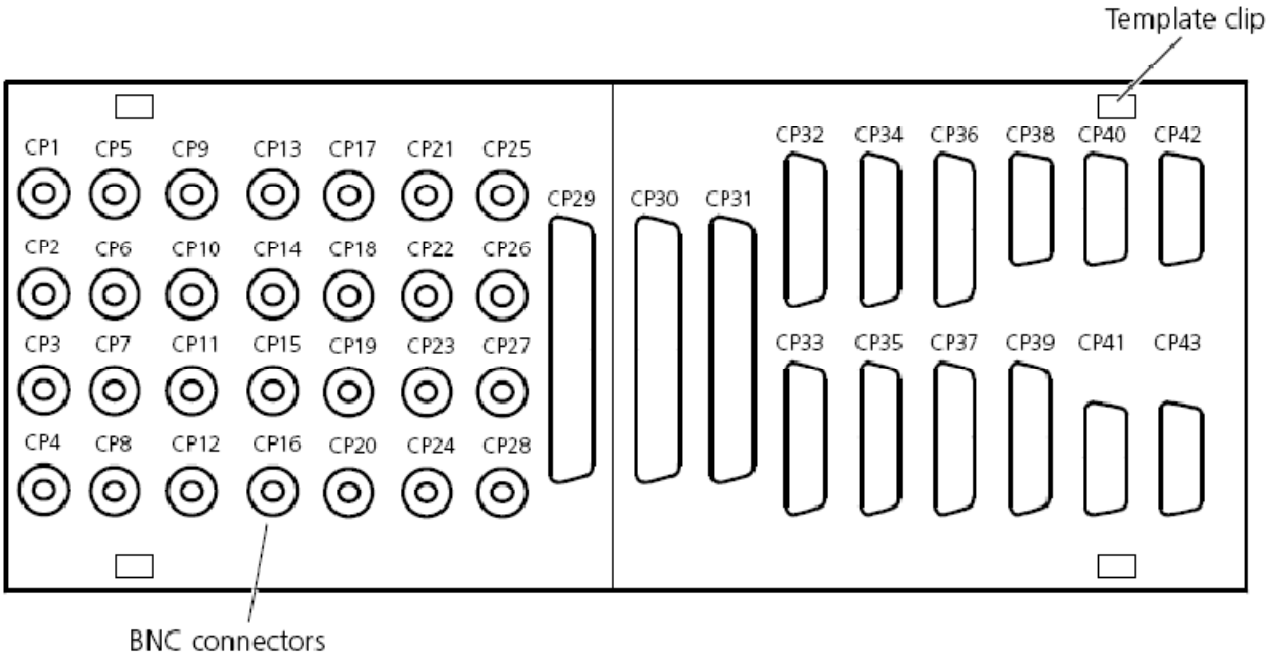


Fig. 2 Esquema de conexiones de la caja CP1103

En la Fig. 3 se muestran las señales de los conectores BNC para las señales analógicas y las señales correspondientes al conector que lee la señal del "encoder".

BNC Connectors (CP1 ... CP28)

Connector	Signal	Connector	Signal
CP1	ADCH1	CP15	ADCH15
CP2	ADCH2	CP16	ADCH16
CP3	ADCH3	CP17	ADCH17
CP4	ADCH4	CP18	ADCH18
CP5	ADCH5	CP19	ADCH19
CP6	ADCH6	CP20	ADCH20
CP7	ADCH7	CP21	DACH1
CP8	ADCH8	CP22	DACH2
CP9	ADCH9	CP23	DACH3
CP10	ADCH10	CP24	DACH4
CP11	ADCH11	CP25	DACH5
CP12	ADCH12	CP26	DACH6
CP13	ADCH13	CP27	DACH7
CP14	ADCH14	CP28	DACH8

Incremental Encoder Interface Connectors (CP32 ... CP37, CP39)

Connector (CP32 ... CP37, CP39)	Pin	Signal	Pin	Signal
1 — 9 / 8 — 15	1	VCC (+5 V)		
	2	PHI0(x)	9	VCC (+5 V)
	3	$\overline{\text{PHI0(x)}}$	10	GND
	4	PHI90(x)	11	GND
	5	$\overline{\text{PHI90(x)}}$	12	GND
	6	INDEX(x)	13	GND
	7	$\overline{\text{INDEX(x)}}$	14	GND
	8	GND	15	GND

Fig. 3 **Señales analógicas y lectura del encoder**

En la Fig. 4 se muestran las señales del conector “Slave I/O” para las señales PWM del control de los IGBTs del inversor del motor asíncrono.

Slave I/O Connector (CP31)

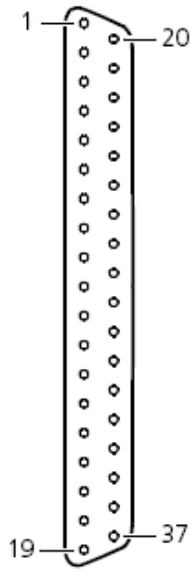
Slave I/O Connector (CP31)	Pin	Signal	Pin	Signal
	1	GND		
	2	SCAP1	20	GND
	3	SCAP3	21	SCAP2
	4	GND	22	SCAP4
	5	ST2PWM	23	ST1PWM
	6	GND	24	ST3PWM
	7	SPWM1	25	GND
	8	SPWM3	26	SPWM2
	9	SPWM5	27	SPWM4
	10	SPWM7	28	SPWM6
	11	SPWM9	29	SPWM8
	12	STMRCLK	30	GND
	13	GND	31	STMRDIR
	14	STINT1	32	SPDPINT
	15	GND	33	STINT2
	16	SSIMO	34	SSOMI
	17	SCLK	35	SSTE
	18	SXF	36	SBIO
	19	VCC (+5 V)	37	GND

Fig. 4 Señales del conector “Slave I/O”

A continuación se muestra el mapa de las señales y la relación con los "RTI Blocks/RTLib Functions", ver Fig. 5.

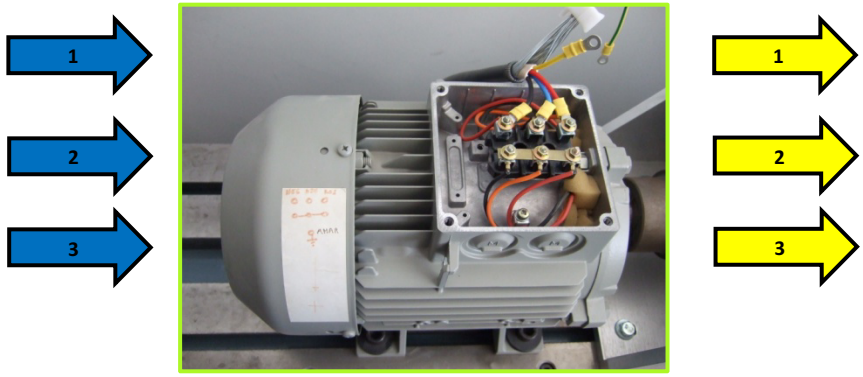
Signal	Channel/Bit Numbers of Related RTI Blocks/RTLib Functions				I/O Pin on ...		
	Related RTI Block(s)	Ch/Bit (RTI)	Related RTLib Functions	Ch/Bit (RTLib)	DS1103	Sub-D Conn.	CP/CLP
ADC Unit							
• Input voltage range: ±10 V • ADCH1 … ADCH16: input for A/D converter with multiplexed input signals • ADCH17 … ADCH20: input for parallel (non-multipexed) A/D converters • I/O circuit and further electrical characteristics: see *Analog Inputs* on page 185							
ADCH1	DS1103MUX_ADC_CONx	Conv 1 ch 1	See *ADC Unit* (📖 *DS1103 RTLib Reference*)	Ch 1 (conv 1)	P1 3	P1B 34	CP1
ADCH17	DS1103ADC_Cx	Ch 17	See *ADC Unit* (📖 *DS1103 RTLib Reference*)	Ch 17 (conv 5)	P1 35	P1B 23	CP17
ADCH18		Ch 18		Ch 18 (conv 6)	P1 36	P1A 23	CP18
ADCH19		Ch 19		Ch 19 (conv 7)	P1 39	P1B 40	CP19
ADCH20		Ch 20		Ch 20 (conv 8)	P1 40	P1A 40	CP20
DAC Unit							
• Output voltage range: ±10 V • Output current range: ±5 mA • DACH1 … DACH8: D/A converter output • I/O circuit and further electrical characteristics: see *Analog Outputs* on page 187							
DACH1	DS1103DAC_Cx	Ch 1	See *DAC Unit* (📖 *DS1103*	Ch 1	P1 47	P1B 25	CP21
Incremental Encoder Interface							
• Ch 1 … Ch 6: digital (differential RS422 or single-ended TTL) input • Ch 7: analog (sinusoidal differential 1 V_{pp} or 11 μA_{pp}) input • PHI0(x): incremental encoder interface input 0° ($\overline{PHI0(x)}$: inverted signal) • PHI90(x): incremental encoder interface input 90° ($\overline{PHI90(x)}$: inverted signal) • IDX(x): incremental encoder interface index input ($\overline{IDX(x)}$: inverted signal) • I/O circuit and further electrical characteristics: see *Incremental Encoder Interface* on page 199							
PHI0(1)	DS1103ENC_POS_Cx/	Ch 1	See *Incremental Encoder Interface* (📖 *DS1103 RTLib Reference*)	Ch 1	P3 45	P3B 41	CP32 2
$\overline{PHI0(1)}$	DS1103ENC_SET_POS_Cx				P3 46	P3A 41	CP32 3
PHI90(1)					P3 47	P3B 25	CP32 4
$\overline{PHI90(1)}$					P3 48	P3A 25	CP32 5
IDX(1)	DS1103ENC_SW_INDEX_Cx/	Ch 1	See *Incremental Encoder Interface* (📖 *DS1103 RTLib*	Ch 1	P3 49	P3B 9	CP32 6
$\overline{IDX(1)}$	DS1103ENC_HW_INDEX_Cx				P3 50	P3A 9	CP32 7
1-Phase PWM Signal Generation (PWM), 3-Phase PWM Signal Generation (PWM3), Space Vector PWM Signal Generation (PWMSV)							
• TTL output voltage range • Output current range: ±13 mA • I/O circuit and further electrical characteristics: see *Slave DSP Bit I/O* on page 193							
SPWM7 *		Ch 2	*Generation* (📖 *DS1103 RTLib Reference*)	Ch 2	P2 71	P2B 29	CP31 10
SPWM8 *		Ch 3		Ch 3	P2 72	P2A 29	CP31 29
SPWM9 *		Ch 4		Ch 4	P2 73	P2B 13	CP31 11
SPWM1 *	DS1103SL_DSP_PWM3/	Phase 1	See Slave DSP PWM3 Generation/*Slave DSP PWMSV Generation* (📖 *DS1103 RTLib Reference*)	Phase 1	P2 65	P2B 28	CP31 7
SPWM3 *	DS1103SL_DSP_PWMSV	Phase 2		Phase 2	P2 67	P2B 12	CP31 8
SPWM5 *		Phase 3		Phase 3	P2 69	P2B 45	CP31 9
SPWM2		Phase 1 (inverted)		Phase 1 (inverted)	P2 66	P2A 28	CP31 26
SPWM4		Phase 2 (inverted)		Phase 2 (inverted)	P2 68	P2A 12	CP31 27
SPWM6		Phase 3 (inverted)		Phase 3 (inverted)	P2 70	P2A 45	CP31 28

Fig. 5 Mapa de las señales y RTLib Functions

Esquema de conexiones del motor asíncrono, ver Tabla III.

Tabla III Esquema de conexiones del motor asíncrono

Motor asíncrono



Leyenda
PC
Tarjeta DS1103
Motor Asíncrono
Motor Síncrono
Inv. Motor Asíncrono
Inv. Motor Síncrono
Autotransformador
Contactor seguridad
Sensores Corr. y Ten.
Adap. Niv. Tensión
Resis. de frenado

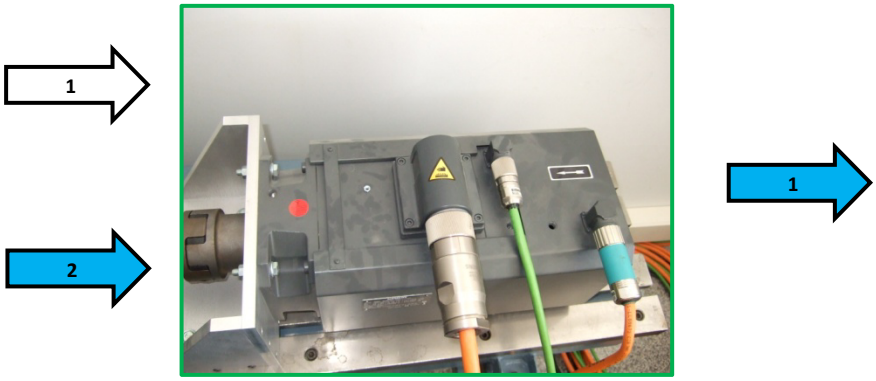
Entradas					
Número	Conector	Señal	Rango	Procedencia	Utilidad
1	Fase/Neutro	Tensión	560 V	Inversor motor asíncrono	Alimentación motor
2	Fase/Neutro	Tensión	560 V	Inversor motor asíncrono	Alimentación motor
3	Fase/Neutro	Tensión	560 V	Inversor motor asíncrono	Alimentación motor
Salidas					
Número	Conector	Señal	Rango	Destino	Utilidad
1	Banana	Corriente	6.64 A	Sensores corriente	Medida intensidad
2	Banana	Corriente	6.64 A	Sensores corriente	Medida intensidad
3	Banana	Corriente	6.64 A	Sensores corriente	Medida intensidad

Las tres fases del motor son alimentadas a través de tres bananas provenientes del inversor. En concreto las bananas roja, negra y azul. Entre los dos puntos de conexión se intercalan los sensores de intensidad para obtener las medidas de las corrientes de fase.

Esquemas de conexión del motor síncrono e inversor del motor síncrono, ver Tabla IV y Tabla V.

Tabla IV Esquema de conexiones del motor síncrono

Motor síncrono



Leyenda
PC
Tarjeta DS1103
Motor Asíncrono
Motor Síncrono
Inv. Motor Asíncrono
Inv. Motor Síncrono
Autotransformador
Contactor seguridad
Sensores Corr. y Ten.
Adap. Niv. Tensión
Resis. de frenado

Entradas					
Número	Conector	Señal	Rango	Procedencia	Utilidad
1	Fase/Neutro	Tensión	220 V AC	Red	Alimentación ventilador
2	-	Tensión	-	Inversor mot.síncrono	Alimentación motor
Salidas					
Número	Conector	Señal	Rango	Destino	Utilidad
1	-	-	-	Inversor mot.síncrono	Medida del encoder

Tabla V Esquema de conexiones del inversor del motor síncrono

Inversor del motor síncrono

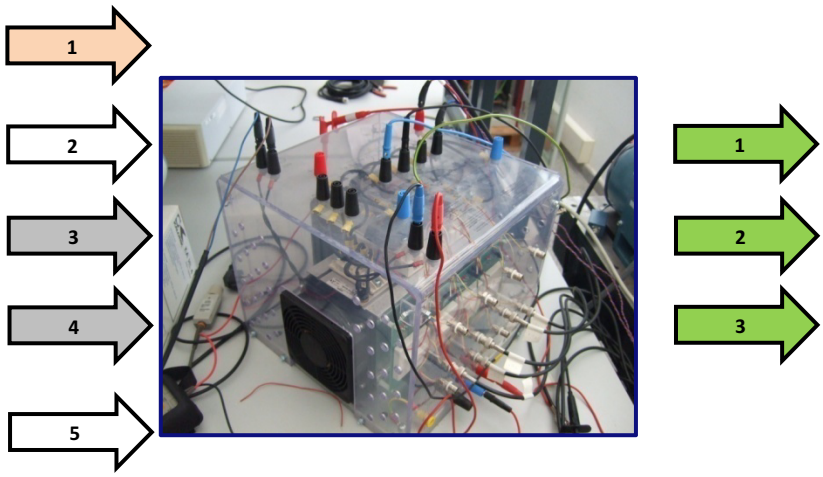
Leyenda
PC
Tarjeta DS1103
Motor Asíncrono
Motor Síncrono
Inv. Motor Asíncrono
Inv. Motor Síncrono
Autotransformador
Contactor seguridad
Sensores Corr. y Ten.
Adap. Niv. Tensión
Resis. de frenado

Entradas					
Número	Conector	Señal	Rango	Procedencia	Utilidad
1	BNC/DACH1	Analógica	0…1 V	Tarjeta DS1103	Referencia de par
2	-	Tensión	-	Motor síncrono	Medida velocidad
Salidas					
Número	Conector	Señal	Rango	Destino	Utilidad
1	Conector INC1	TTL	0…5V	Tarjeta DS1103	Medida velocidad
2	-	Tensión	-	Motor síncrono	Alimentación motor síncrono
3	BNC/ADCH20	Analógica	10..-10 V	Tarjeta DS1103	Medida par generado

Esquema de conexiones del Inversor del motor asíncrono, ver Tabla VI

Tabla VI Esquema de conexiones del Inversor del motor asíncrono

Inversor del motor asíncrono



Leyenda	
PC	
Tarjeta DS1103	
Motor Asíncrono	
Motor Síncrono	
Inv. Motor Asíncrono	
Inv. Motor Síncrono	
Autotransformador	
Contactor seguridad	
Sensores Corr. y Ten.	
Adap. Niv. Tensión	
Resis. de frenado	

Entradas					
Número	Conector	Señal	Rango	Procedencia	Utilidad
1	Trifásico	Tensión	0…400V	Contactor de seguridad	Alimentación inversor
2	Fase/Neutro	Tensión	230V	Red	Alimentación del ventilador
3	6 BNC	PWM	0/15 V	Adaptador de Tensión	Control IGBTs
4	1 BNC	PWM	0/15 V	Adaptador de Tensión	Control res. frenado
5	Banana	Tensión	+15 VDC	Fuente alim +15 V	Alimentación control
Salidas					
Número	Conector	Señal	Rango	Destino	Utilidad
1	Fase/Neutro	Tensión	560 V	Motor asíncrono	Alimentación fase motor
2	Fase/Neutro	Tensión	560 V	Motor asíncrono	Alimentación fase motor
3	Fase/Neutro	Tensión	560 V	Motor asíncrono	Alimentación fase motor

Esquema de conexiones del contactor de seguridad(controlado por botonera), ver Tabla VII

Tabla VII Esquema de conexiones del contactor de seguridad

Contactor de seguridad

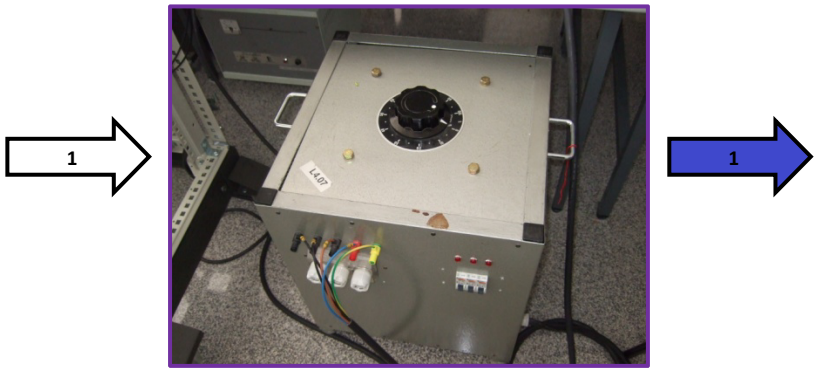
Leyenda
PC
Tarjeta DS1103
Motor Asíncrono
Motor Síncrono
Inv. Motor Asíncrono
Inv. Motor Síncrono
Autotransformador
Contactor seguridad
Sensores Corr. y Ten.
Adap. Niv. Tensión
Resis. de frenado

Entradas					
Número	Conector	Señal	Rango	Procedencia	Utilidad
1	Fase/Neutro	Tensión	220 V AC	Red	Alimentación contactor
2	Trifásico	Tensión	0…400 V	Autotransformador	Alim. Inversor mot. asíncrono
Salidas					
Número	Conector	Señal	Rango	Destino	Utilidad
1	Trifásico	Tensión	0…400 V	Inversor mot.asíncrono	Alim. inversor mot. asíncrono

Esquema de conexiones del auto transformador, ver Tabla VIII.

Tabla VIII Esquema de conexiones del autotransformador

Autotransformador



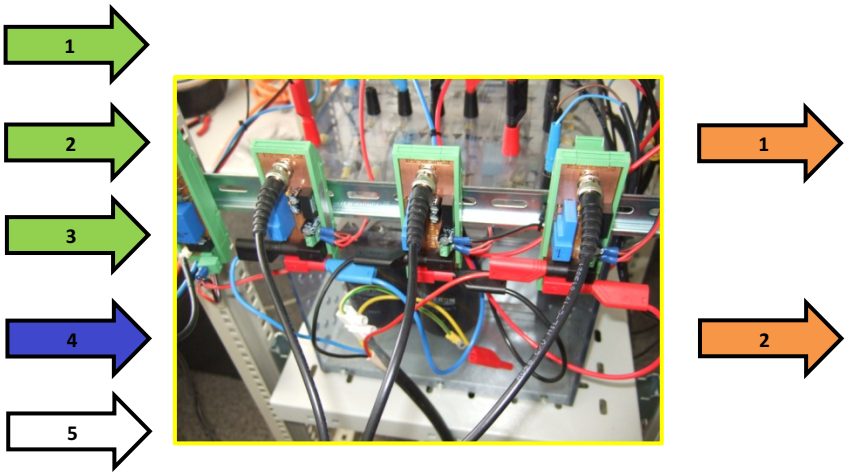
Leyenda
PC
Tarjeta DS1103
Motor Asíncrono
Motor Síncrono
Inv. Motor Asíncrono
Inv. Motor Síncrono
Autotransformador
Contactor seguridad
Sensores Corr. y Ten.
Adap. Niv. Tensión
Resis. de frenado

Entradas					
Número	Conector	Señal	Rango	Procedencia	Utilidad
1	Trifásico	Tensión	400 V	Red	Alim. Inversor mot. asíncrono
Salidas					
Número	Conector	Señal	Rango	Destino	Utilidad
1	Trifásico	Tensión	0…400 V	Inversor mot.asíncrono	Alim. inversor mot. asíncrono

Esquema de conexiones de los sensores de corriente y tensión, ver Tabla IX.

Tabla IX Esquema de conexiones de los sensores de corriente y tensión.

Sensores corriente y tensión



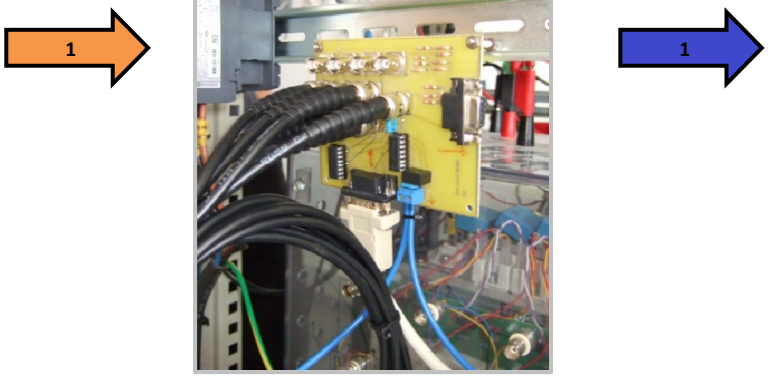
Leyenda
PC
Tarjeta DS1103
Motor Asíncrono
Motor Síncrono
Inv. Motor Asíncrono
Inv. Motor Síncrono
Autotransformador
Contactor seguridad
Sensores Corr. y Ten.
Adap. Niv. Tensión
Resis. de frenado

Entradas					
Número	Conector	Señal	Rango	Procedencia	Utilidad
1	Banana	Corriente	20…-20 A	Motor asíncrono	Medida corriente de fase
2	Banana	Corriente	20…-20 A	Motor asíncrono	Medida corriente de fase
3	Banana	Corriente	20…-20 A	Motor asíncrono	Medida corriente de fase
4	Banana	Tensión	20…-20 A	Inversor mot. asíncrono	Medida tensión bus
5	Ficha	Tensión	+15 VDC	Fuente alim +15 V	Alimentación sensores
Salidas					
Número	Conector	Señal	Rango	Destino	Utilidad
1	3 BNC	Tensión	10…-10 V	Tarjeta DS1103	Medida corrientes fase motor asíncrono
2	1 BNC	Tensión	10…-10 V	Tarjeta DS1103	Medida tensión bus inversor motor asíncrono

Esquema de conexiones del adaptador de niveles de tensión, ver Tabla X.

Tabla X Esquema de conexiones del adaptador de niveles de tensión.

Adaptador de niveles de tensión



Leyenda
PC
Tarjeta DS1103
Motor Asíncrono
Motor Síncrono
Inv. Motor Asíncrono
Inv. Motor Síncrono
Autotransformador
Contactor seguridad
Sensores Corr. y Ten.
Adap. Niv. Tensión
Resis. de frenado

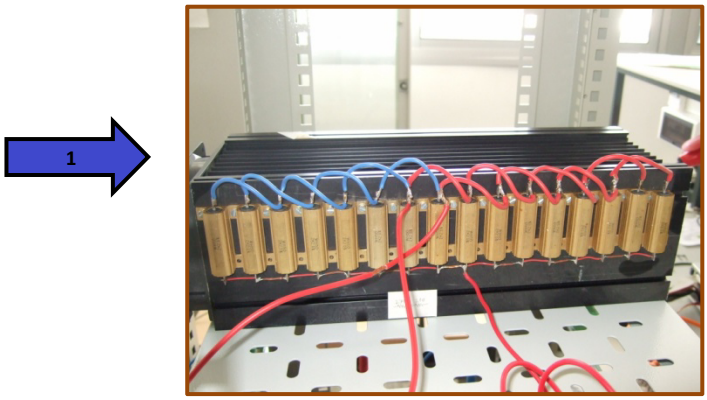
Entradas					
Número	Conector	Señal	Rango	Procedencia	Utilidad
1	DB9 (Pin 1 Vcc)	Tensión	0..5 V	Red	Adaptar nivel de tensión de TTL a 0/15V

Salidas					
Número	Conector	Señal	Rango	Destino	Utilidad
1	7BNC	Tensión	0…15 V	Inversor mot.asíncrono	Control IGBTs y Res. frenado

Esquema de conexiones de las resistencias de frenado, ver Tabla XI

Tabla XI Esquema de conexiones de las resistencias de frenado

Resistencias de frenado



Leyenda
PC
Tarjeta DS1103
Motor Asíncrono
Motor Síncrono
Inv. Motor Asíncrono
Inv. Motor Síncrono
Autotransformador
Contactor seguridad
Sensores Corr. y Ten.
Adap. Niv. Tensión
Resis. de frenado

Entradas					
Número	Conector	Señal	Rango	Procedencia	Utilidad
1	Fase/Neutro	Tensión	0..800 V	Inversor del motor asíncrono	Alimentación

Esquema de conexiones de la tarjeta de optoaclopadores, ver Fig. 6

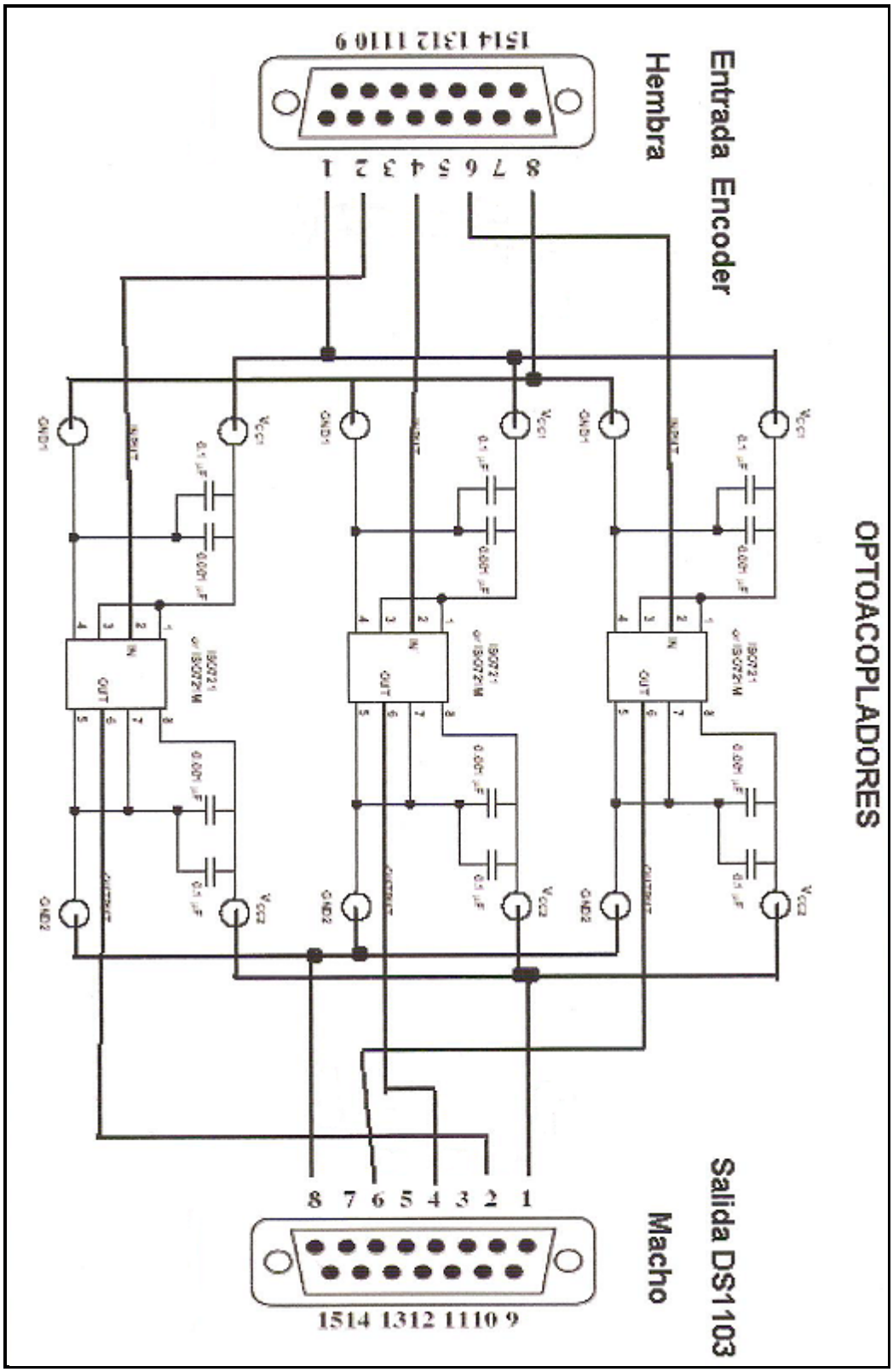


Fig. 6 Conexiones de la tarjeta de optoaclopadores

ANEXO III DESARROLLO DE LOS ALGORITMOS DE CONTROL. CÓDIGO MATHCAD

Diseño del lazo de intensidad, par y velocidad(motor asíncrono)

A) Datos del motor

Resistencia del estator

$Rs := 3.8ohm$

Inductancia del estator

$Ls := 0.28H$

Resistencia del rotor

$Rr := 2.6ohm$

Inductancia del rotor

$Lr := 0.28H$

Inductancia magnetizante

$Lm := 0.269H$

Coef inercia equivalente(motor + carga)

$Jeq := 0.01kg \cdot m^2$

$$Leq := Ls - \frac{Lm^2}{Lr}$$

$Leq = 0.022H$

Número de pares de polos

$p := 2$

Corriente magnetizante nominal

$Imr := 3.39A$

A) Datos del motor

B) Lazo controladores de corriente

Los controladores de corriente proporcionan una acción de tensión a partir de una componente de corriente, siguiendo un primer orden. Son iguales, tanto para ***isx*** e ***isy***

Función de transferencia del controlador en lazo abierto

$$G_I_OL(s) := Kp_I \cdot \left(\frac{s + \frac{Ki_I}{Kp_I}}{s} \right) \cdot \frac{1}{Leq \cdot \left(s + \frac{Rs}{Leq} \right)}$$

Estrategia : Se utiliza un PI, compensando el polo del sistema con el cero del regulador

$$\frac{Ki_I}{Kp_I} := \frac{Rs}{Leq}$$

La función resultante simplificada queda

$$G_I_OL(s) := \frac{K_I_OL}{s}$$

con

$$K_I_OL := \frac{Kp_I}{Leq}$$

Selección de la frecuencia de cruce del lazo de intensidad

Hemos supuesto una frec de conmutación de 10KHz, seleccionamos una décima parte

$$fc_I := 1000\,Hz$$

La frecuencia fc_I determina el ancho de banda del lazo de intensidad

$$K_I_OL := 2 \cdot \pi \cdot fc_I \cdot rad$$

$$K_I_OL = 6.283 \times 10^3 \cdot \frac{rad}{s}$$

Cálculo de las constantes Ki_I y Kp_I de los controladores de corriente

$$Kp_I := K_I_OL \cdot Leq$$

$$Kp_I = 135.515 \cdot \frac{V}{A}$$

$$Ki_I := \frac{Kp_I \cdot Rs}{Leq}$$

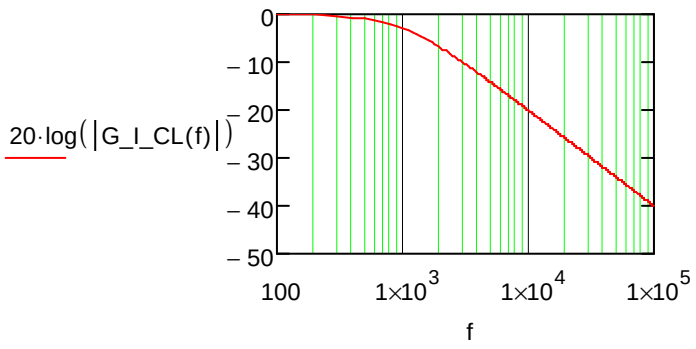
$$Ki_I = 2.388 \times 10^4 \cdot \frac{V}{A \cdot s}$$

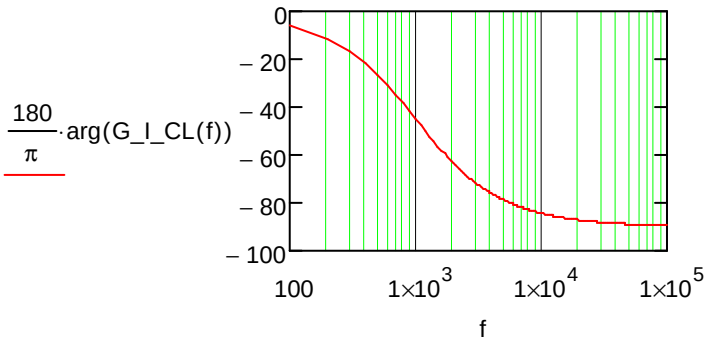
B) Lazo controladores de corriente

C) Bode lazo de intensidad

$f := 100Hz, 200Hz .. 100000Hz$

$$G_I_CL(f) := \frac{1}{1 + \frac{i \cdot 2 \cdot \pi f}{K_I_OL}}$$





C) Bode lazo de intensidad

D)Lazo de par

El regulador de par proporciona una acción de ***isy*** a partir del error de par

Función de transferencia del sistema en lazo abierto

$$G_T_OL(s) := Kp_T \cdot \left(\frac{s + \frac{Ki_T}{Kp_T}}{s} \right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{s}{K_I_OL}} \cdot \frac{3}{2} \cdot p \cdot \frac{Lm^2}{Lr} \cdot Imr$$

Estrategia : Se utiliza un PI, compensando el polo del sistema con el cero del regulador

$$\frac{Ki_T}{Kp_T} := K_I_OL$$

La función resultante simplificada queda

$$G_T_OL(s) := \frac{K_T_OL}{s}$$

con

$$K_T_OL := Kp_T \cdot K_I_OL \cdot \frac{3}{2} p \cdot \frac{Lm^2}{Lr} \cdot Imr$$

Selección de la frecuencia de cruce del lazo de par

La frecuencia de cruce del lazo de intensidad es 1000Hz, seleccionamos una quinta parte para el lazo de par, 200Hz

$$fc_T := 200Hz$$

La frecuencia fc_T determina el ancho de banda del lazo de par

$$K_T_OL := 2 \cdot \pi \cdot fc_T \cdot rad$$

$$K_T_OL = 1.257 \times 10^3 \cdot \frac{rad}{s}$$

Cálculo de las constantes Ki_I y Kp_I de los controladores de corriente

$$Kp_T := \frac{K_T_OL}{K_I_OL \cdot \frac{3}{2} p \cdot \frac{Lm^2}{Lr} \cdot Imr}$$

$$Kp_T = 0.076 \cdot \frac{A}{N \cdot m}$$

$$Ki_T := Kp_T \cdot K_I_OL$$

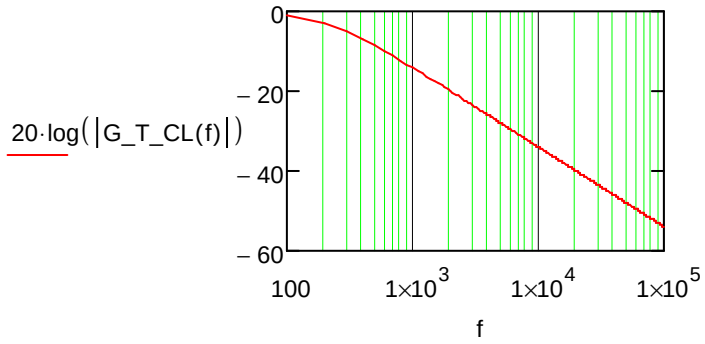
$$Ki_T = 478.126 \cdot \frac{A}{N \cdot m \cdot s}$$

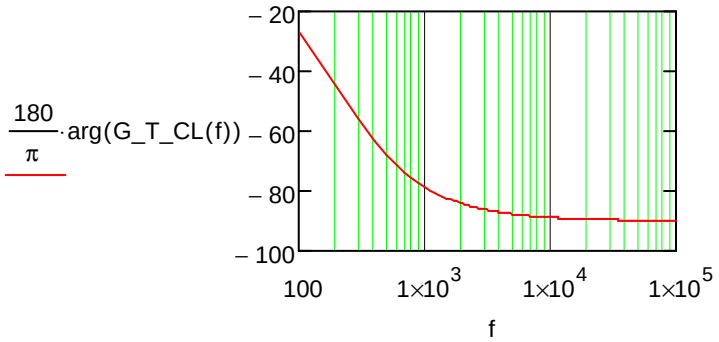
D)Lazo de par

E) Bode lazo de par

$f := 100Hz, 200Hz .. 100000Hz$

$$G_T_CL(f) := \frac{1}{1 + \frac{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}{K_T_OL}}$$





E) Bode lazo de par

F)Lazo de velocidad

El regulador de velocidad proporciona una referencia de par a partir del error de velocidad

Función de transferencia del sistema en lazo abierto

$$Kt := \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot p} \frac{rpm}{\frac{rad}{s}}$$

$$G_V_OL(s) := Kp_V \cdot \left(\frac{s + \frac{Ki_V}{Kp_V}}{s} \right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{s}{K_T_OL}} \cdot \frac{Kt}{s \cdot J}$$

$$G_V_OL(s) := \frac{Ki_V \cdot Kt}{J} \cdot \frac{1}{s^2} \cdot \frac{1 + \frac{s}{\frac{Ki_V}{Kp_V}}}{1 + \frac{s}{K_T_OL}}$$

Cálculo de la posición del polo-cero del regulador de velocidad

$BOOST := 80deg$

Margen de fase

Como el sistema tiene un doble polo en el origen, se parte de una fase de -180º. La mejora de la fase se debe exclusivamente al sistema cero-polo,es decir, MF=BOOST

$$K := \frac{\tan\left(45deg + \frac{BOOST}{2}\right)}{\tan(45deg)}$$

$K = 11.43$

$w_polo := K_T_OL$

$w_polo = 1.257 \times 10^3 \cdot \frac{rad}{s}$

Viene heredado del lazo de par

$$w_cero := \frac{w_polo}{K^2}$$

$w_cero = 9.619 \cdot \frac{rad}{s}$

$$w_cruce := \frac{w_polo}{K}$$

$w_cruce = 109.941 \cdot \frac{rad}{s}$

El ancho de banda del lazo de velocidad será el siguiente

$$f_cruce := \frac{w_cruce}{2 \cdot \pi}$$

$f_cruce = 17.498 \cdot Hz$

Cálculo de las constantes Ki_V y Kp_V del regulador de velocidad

Se hace inicialmente Ki_V=1 y se calcula la ganancia resultante en f_cruce,después se recalcula Ki_V para hacer la ganancia=1

$$Ki_V := 1\frac{N\cdot m}{rpm\cdot s}$$

$$G_V_OL(f) := \frac{Ki_V\cdot Kt}{Jeq}\cdot\frac{1}{(i\cdot 2\cdot\pi\cdot f)^2}\cdot\frac{1+\frac{i\cdot 2\cdot\pi\cdot f}{w_cero}}{1+\frac{i\cdot 2\cdot\pi\cdot f}{w_polo}}$$

$$\left|G_V_OL(f_cruce)\right| = 0.452$$

$$Ki_V := \frac{1\frac{N\cdot m}{rpm\cdot s}}{\left|G_V_OL(f_cruce)\right|}$$

$$Ki_V = 2.215\cdot\frac{N\cdot m}{rpm\cdot s}$$

$$Kp_V := \frac{Ki_V}{w_cero}$$

$$Kp_V = 0.23\cdot\frac{N\cdot m}{rpm}$$

F)Lazo de velocidad

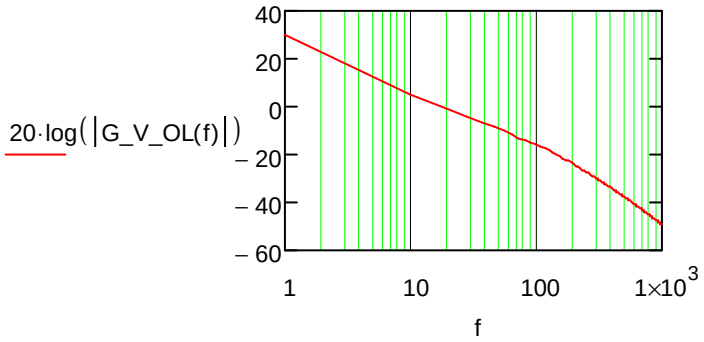
G) Bode lazo de velocidad

$$f := 1Hz, 10Hz .. 1000Hz$$

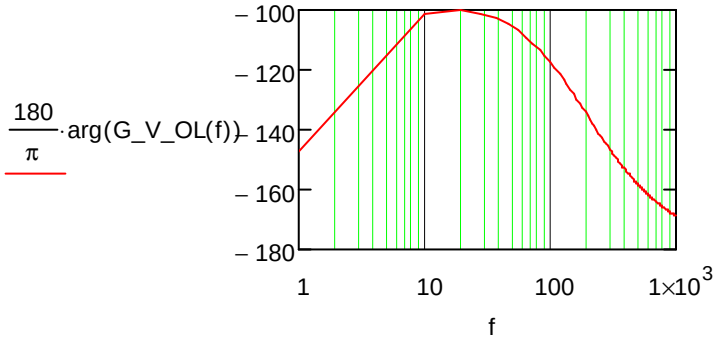
$$G_V_OL(f) := \frac{Ki_V\cdot Kt}{Jeq}\cdot\frac{1}{(i\cdot 2\cdot\pi\cdot f)^2}\cdot\frac{1+\frac{i\cdot 2\cdot\pi\cdot f}{w_cero}}{1+\frac{i\cdot 2\cdot\pi\cdot f}{w_polo}}$$

Lazo abierto

Ganancia



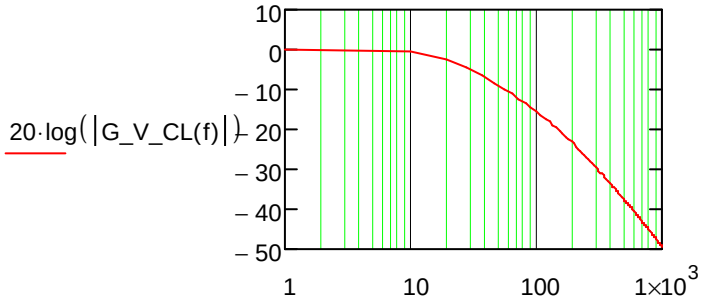
Fase

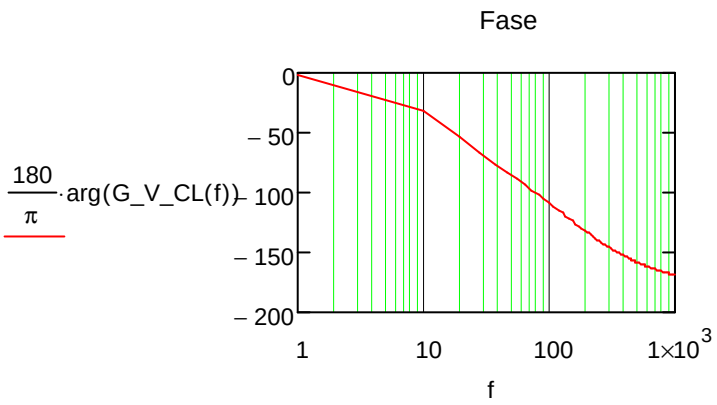


Lazo cerrado

$$G_V_CL(f) := \frac{G_V_OL(f)}{1 + G_V_OL(f)}$$

Ganancia





G) Bode lazo de velocidad

H) Lazo de corriente magnetizante

El regulador de corriente magnetizante genera una acción de **isx** para establecer la corriente magnetizante a su valor nominal, 3.39 A, y lo hace mediante un sistema de primer orden, según el modelo de flujo. Se utiliza un regulador PI para eliminar el polo del sistema dado por la constante de tiempo del rotor, Tr, e introducir un polo en el origen para tener un error de posición nulo en el permanente.

$$G_Im_OL(s) := Kp_Im \cdot \left(\frac{s + \frac{Ki_Im}{Kp_Im}}{s} \right) \cdot \frac{1}{Lr \cdot \left(s + \frac{Rr}{Lr} \right)}$$

$$\frac{Ki_Im}{Kp_Im} := \frac{Rr}{Lr}$$

<u>La función resultante simplificada queda</u>

$$G_Im_OL(s) := \frac{K_Im_OL}{s}$$

con

$$K_Im_OL := \frac{Kp_Im}{Lr}$$

El tiempo de respuesta del sistema final viene dado por Kp_Im, pero no se pone muy elevado para no tener una acción (una componente de isx) fuera de rango.

Supongo

$$Kp_Im := 2$$

$$Ki_Im := Kp_Im \cdot \frac{Rr}{Lr}$$

$$Ki_Im = 18.571 \frac{1}{s}$$

ANEXO IV DESCRIPCIÓN DE LOS BLOQUES DEL SISTEMA

En este anexo se describen con detalle los diferentes bloques que componen el sistema de control completo, que se compilan en Matlab/Simulink para crear el código que se descarga en la tarjeta DS1103.

Esquema general de bloques, ver Fig. 7

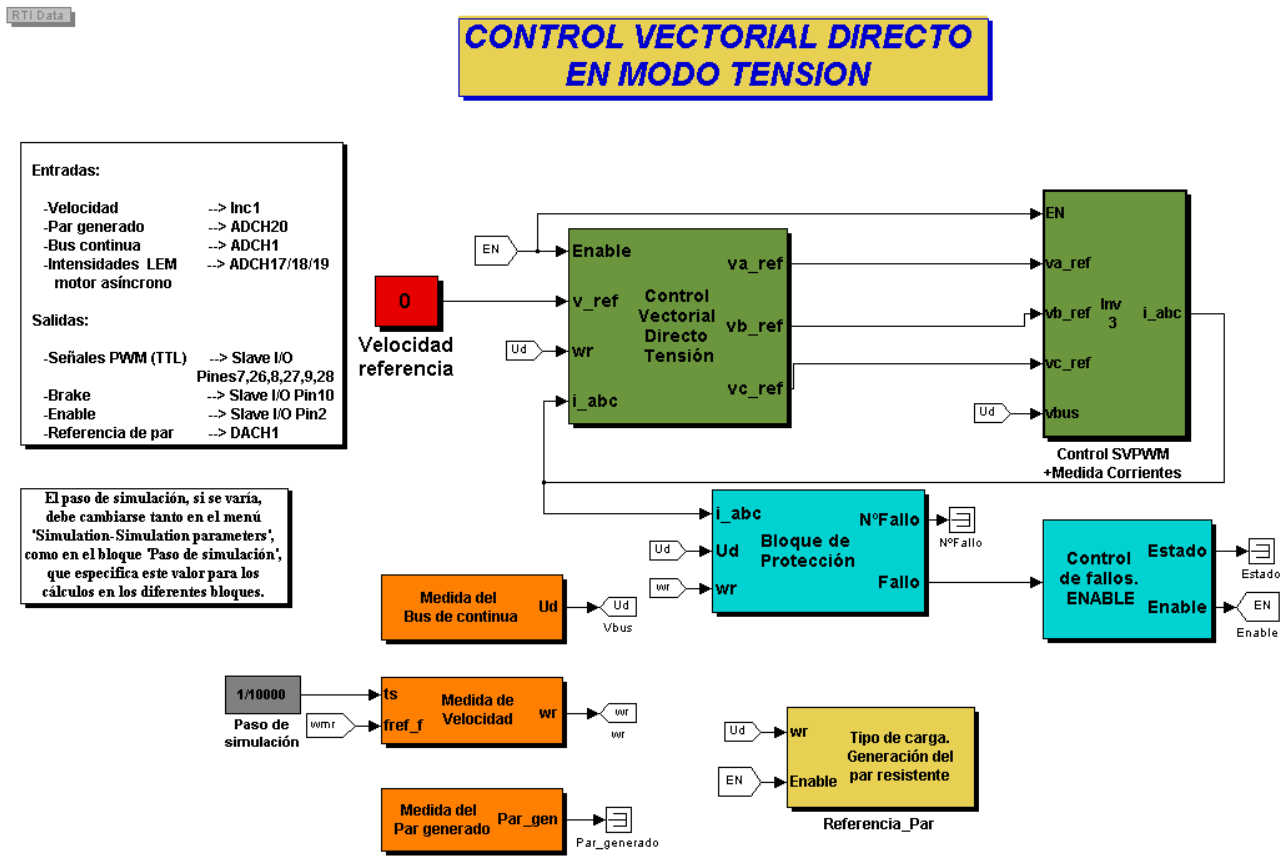


Fig. 7 Esquema general de bloques de Simulink

Los dos bloques verdes contienen los algoritmos de control, tanto del control vectorial como la implementación SVPWM, además generan las medidas de las corrientes de fase del motor asíncrono. Los tres bloques naranjas se encargan de medir la tensión del bus de continua, la velocidad, y el par generado del motor. El bloque de color amarillo se encarga de generar la referencia de par para el motor síncrono, y finalmente los dos bloques azules contienen el sistema de seguridad y gestión de fallos. En las siguientes figuras se va a ver en detalle cada bloque.

Bloque "Control Vectorial Directo Tensión", ver Fig. 8.

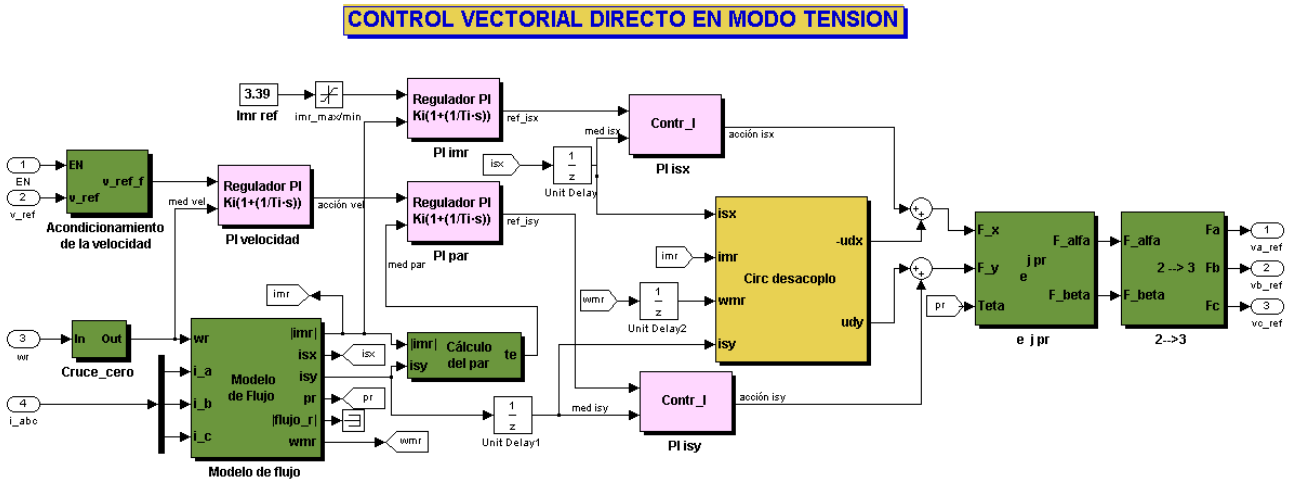


Fig. 8 "Control Vectorial Directo Tensión"

En este bloque se encuentra el núcleo del control vectorial. Se han marcado en rosa los diferentes reguladores en cascada, incluidos los controladores de corriente que generan las componentes de tensión isx e isy. Se pueden ver las dos ramas de regulación independientes, la de corriente de par, y arriba la de corriente magnetizante.

Bloque "Modelo de flujo", ver Fig. 9

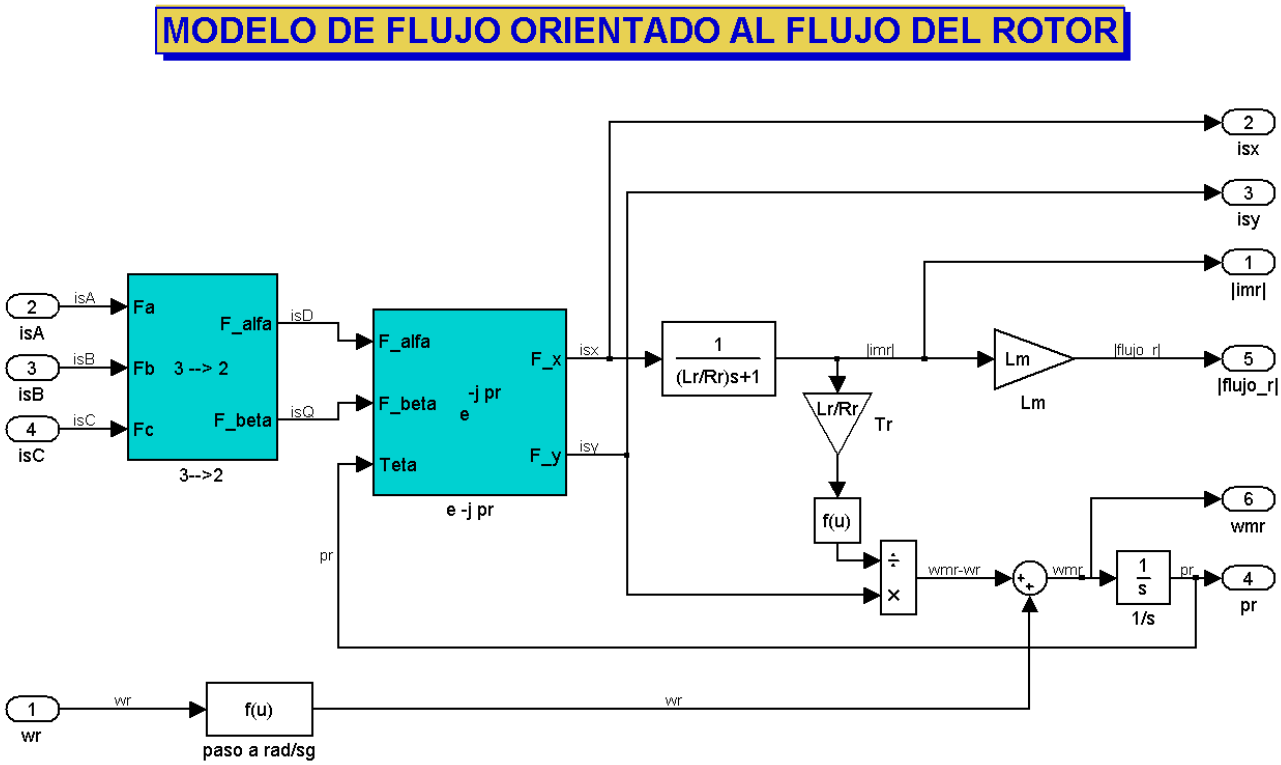


Fig. 9 "Modelo de flujo"

Desarrollando el esquema visto en teoría se construye el modelo de flujo.

Bloque "Circuito de desacoplo", ver Fig. 10

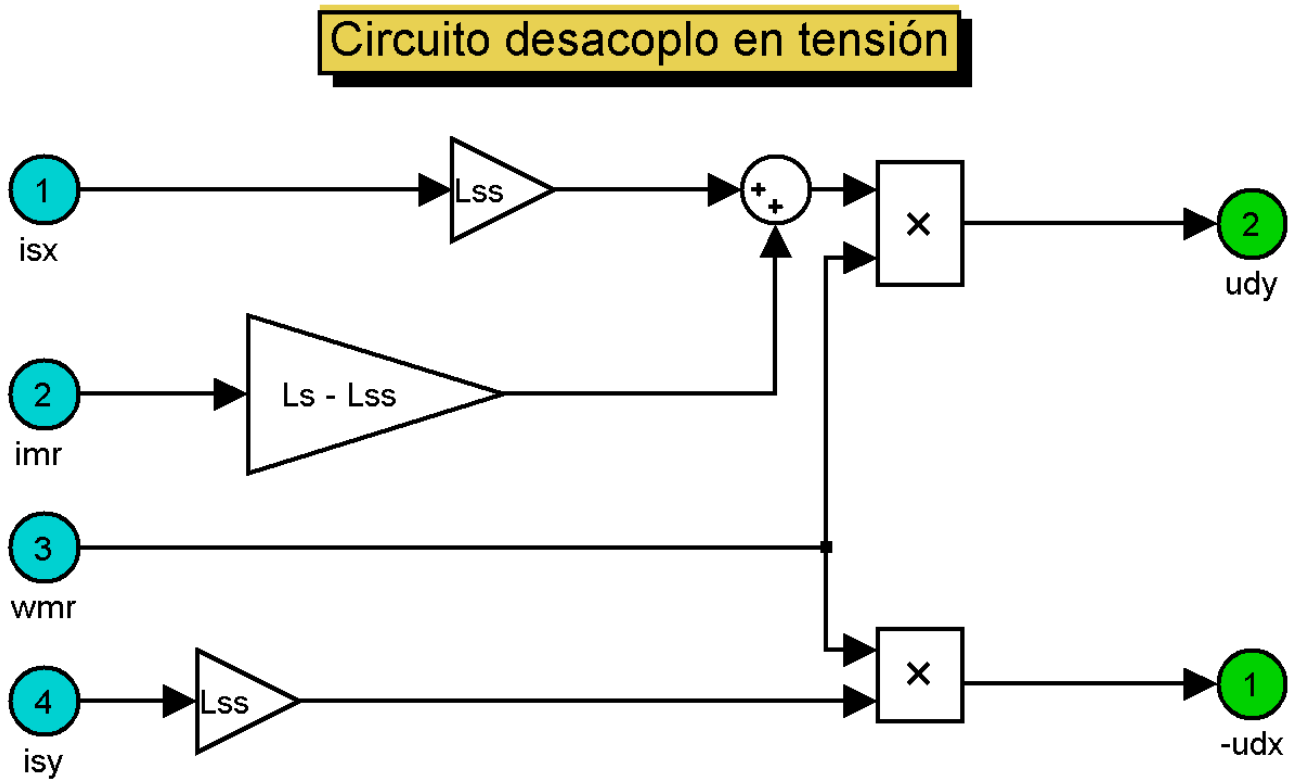


Fig. 10 "Circuito de desacoplo en tensión"

Al igual que en el modelo de flujo, en este bloque se implementan las ecuaciones vistas en teoría para generar las dos componentes de tensión de desacoplo.

Bloque "3→2" o Transformación de Clark, ver Fig. 11.

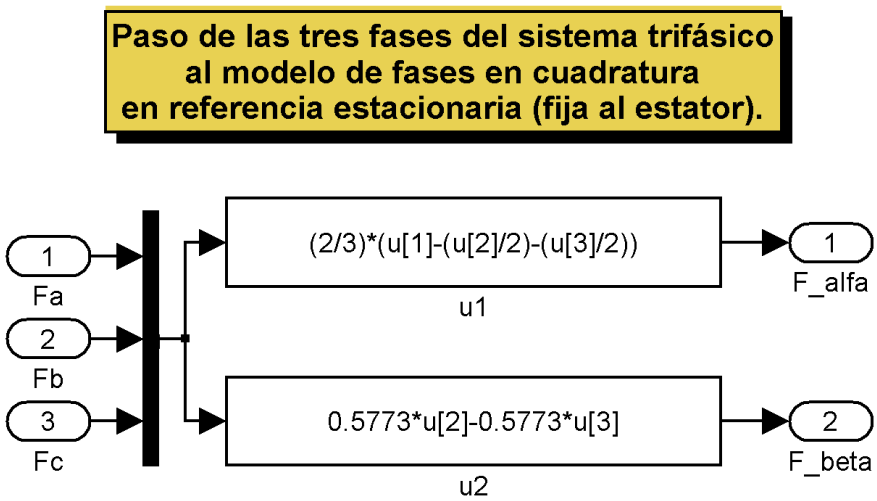


Fig. 11 Transformación de Clark

Bloque "$e^{-j\rho r}$", o Transformación de Park, ver Fig. 12

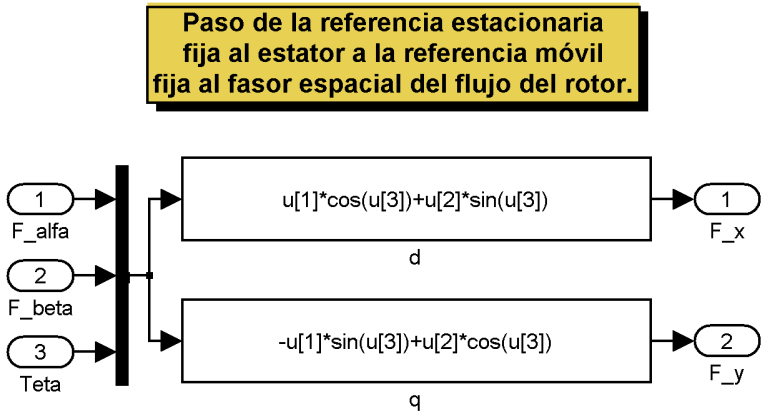


Fig. 12 Transformación de Park

Bloque "Cálculo del par", ver Fig. 13

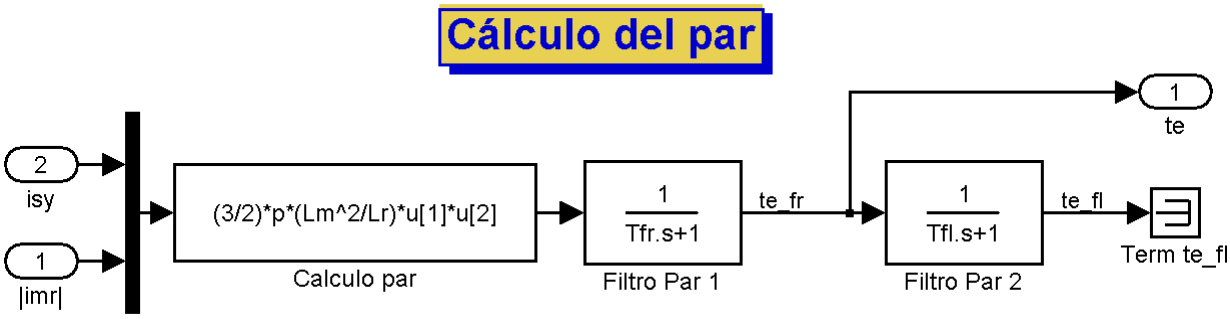


Fig. 13 Cálculo del par

Se han implementado dos filtros, uno más suave para eliminar ruido, y otro más fuerte para estabilizar la medida en el permanente.

Bloque "Regulador de velocidad", ver Fig. 14

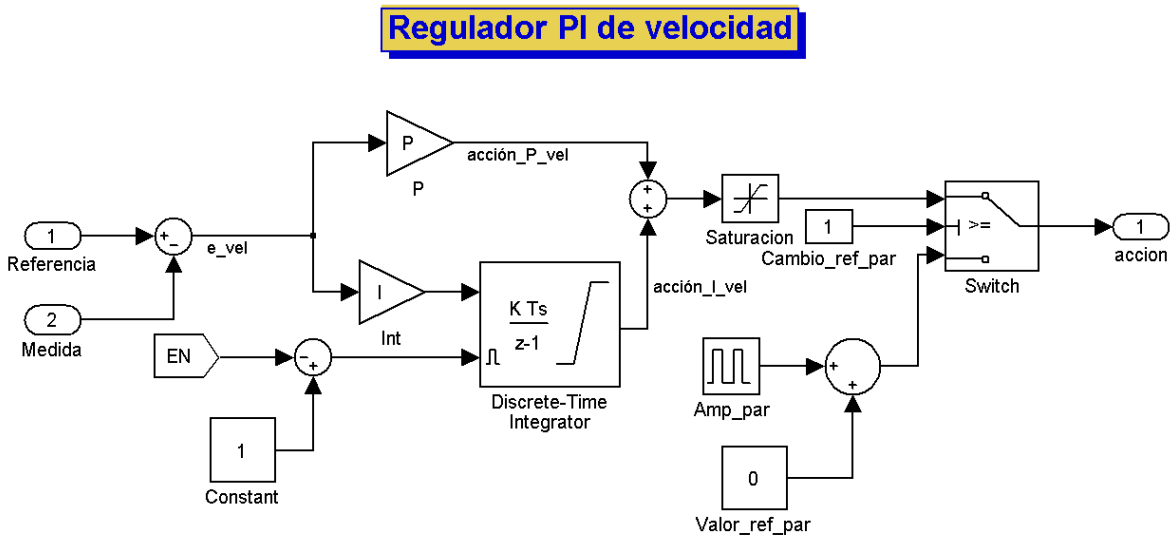


Fig. 14 Regulador de velocidad

El regulador de velocidad es de tipo PI, con Integrador anti-windup y bloque de saturación. Además se puede seleccionar la acción final entre la propia del regulador y una acción cuadrada con offset regulable, para ver su dinámica. La estructura de los demás reguladores es la misma que el de velocidad.

Bloque "Control SVPWM y medida corrientes", ver Fig. 15

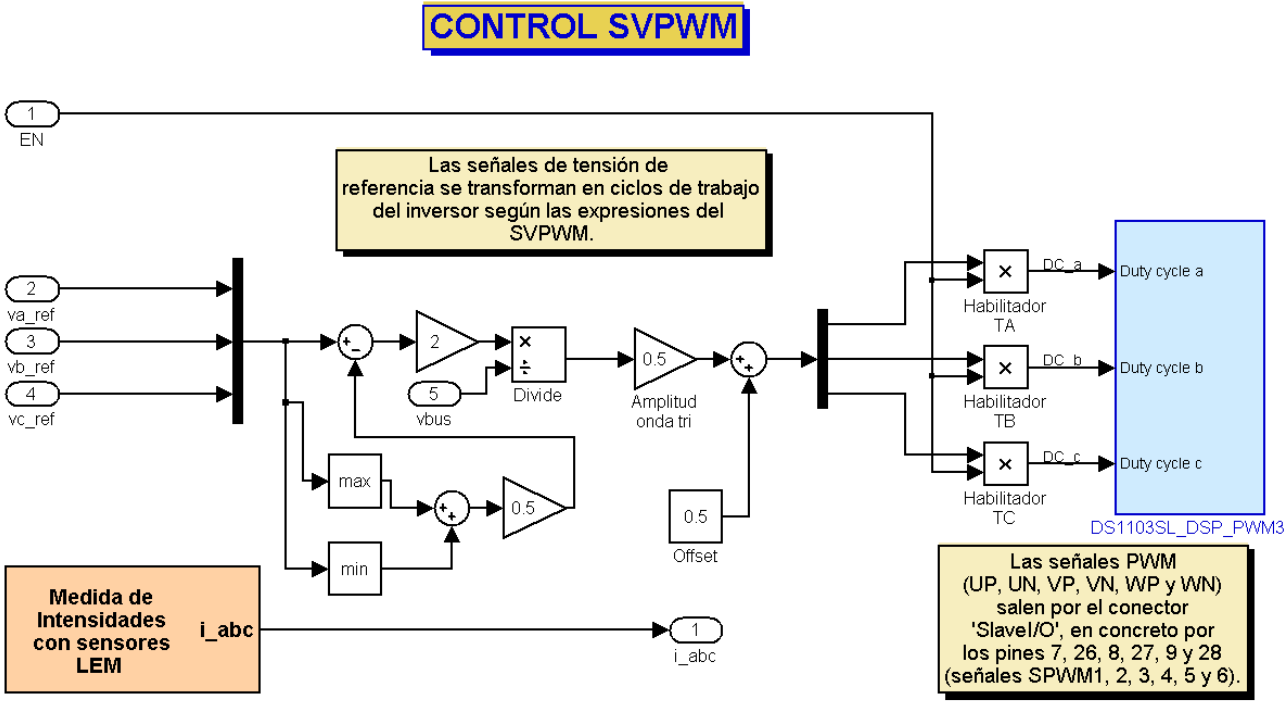


Fig. 15 Control SVPWM y medida de corrientes del motor

En este bloque se implementa el algoritmo de control SVPWM, generando los ciclos de trabajo, que se introducen en el bloque PWM de Dspace. Además también se realizan las medidas de las corrientes de fase del motor, proporcionadas por los sensores LEM.

Bloque "Medida de intensidades con sensores Lem", ver Fig. 16

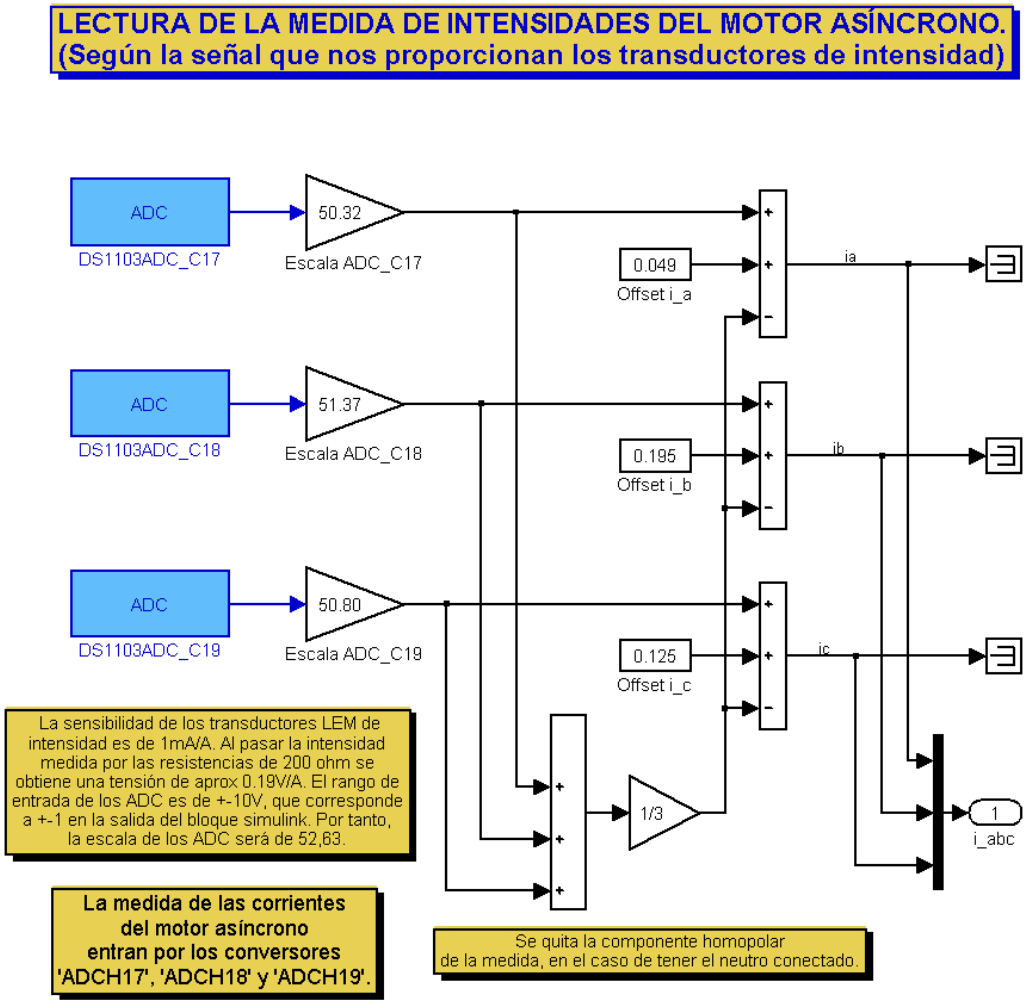


Fig. 16 Medida de corrientes del motor asíncrono

Se aplica un escalado y un offset a cada medida de corriente, cuyos valores han sido determinados experimentalmente en las pruebas de calibración.

Bloque "Medida bus continua", ver Fig. 17.

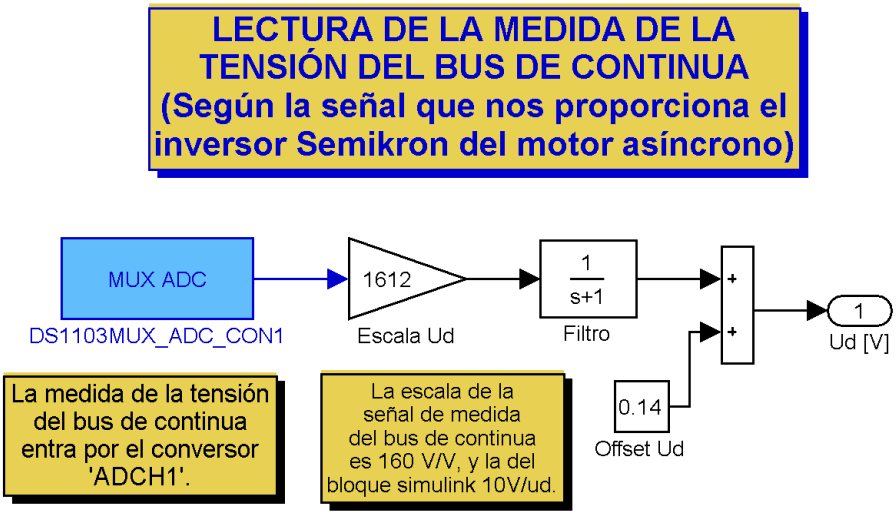


Fig.17 Medida del bus de continua del inversor Semikron

Bloque "Medida del par generado", ver Fig. 18.

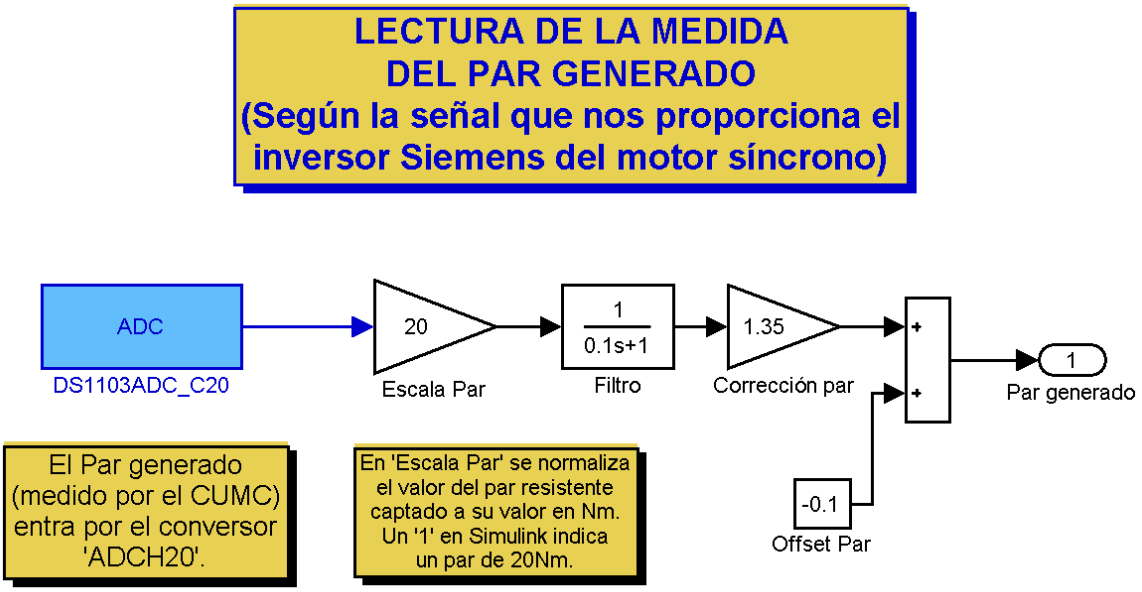


Fig.18 Medida del par generado

Esquema "Medida velocidad", ver Fig. 19.

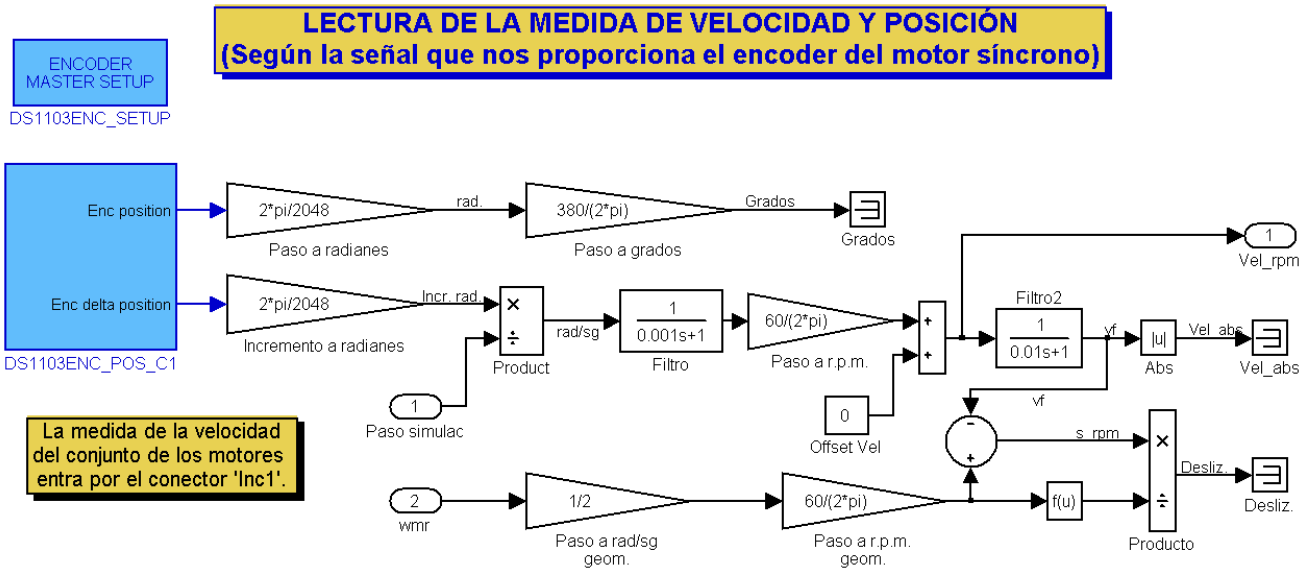


Fig.19 Medida de la velocidad.

Recoge la medida de velocidad y la acondiciona según la relación 2048 líneas: 2π radianes. Como la señal se refiere a la variación en un periodo de simulación, se divide por este factor para acondicionar la medida a rad/s. Se realiza un primer filtrado suave para utilizar la medida en otros cálculos y otro más restringente para observar la medida de velocidad estable en el permanente. Por otra parte se realiza el cálculo del deslizamiento s, tanto por unidad como en r.p.m.

Bloque "Generación de referencia de par de carga", ver Fig. 20.

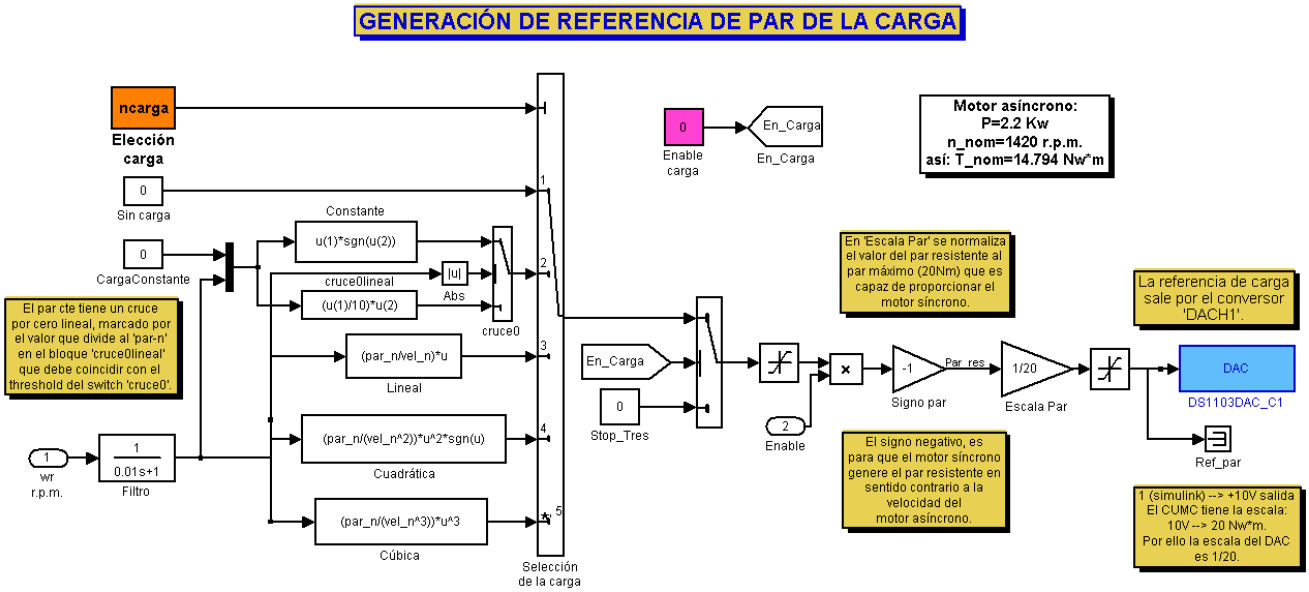


Fig.20 Generación del par resistente

Mediante el bloque "Selección de carga" (1,2,3,4 o 5) se elige la señal de carga que se quiere transmitir. Se tiene para elegir carga nula(1), carga constante(2), carga lineal(3), carga cuadrática(4) y carga cúbica. En los tres últimos tipos se hace pasar la curva par-velocidad por el punto nominal (14.7 Nm a 1420 rpm). Además para evitar problemas en el cruce por cero se ha implementado un paso por cero lineal hasta llegar al valor de la carga constante para velocidad de 50 rpm.

Bloque "Bloque de protección", ver Fig. 21.

El bloque de protección se encarga de controlar que no se infringen los límites de corriente (12 A), tensión del bus de continua (600 V), y velocidad (1000 rpm). Además se implementa a través de unos flip-flop J-K un bloque "reset-fallo" (sus valores son 0 o 1 y se controla desde el panel de control de ControlDesk) que hasta que no se pone a 1, no resetea el fallo producido. A los diferentes fallos se les aplica un peso para poder detectar el tipo de fallo que se ha producido.

Por otro lado genera la señal de control para el IGBT de la rama de frenado, de manera que genera un ciclo de servicio lineal de 0 a 1 entre los valores de tensión 600 y 650 V.

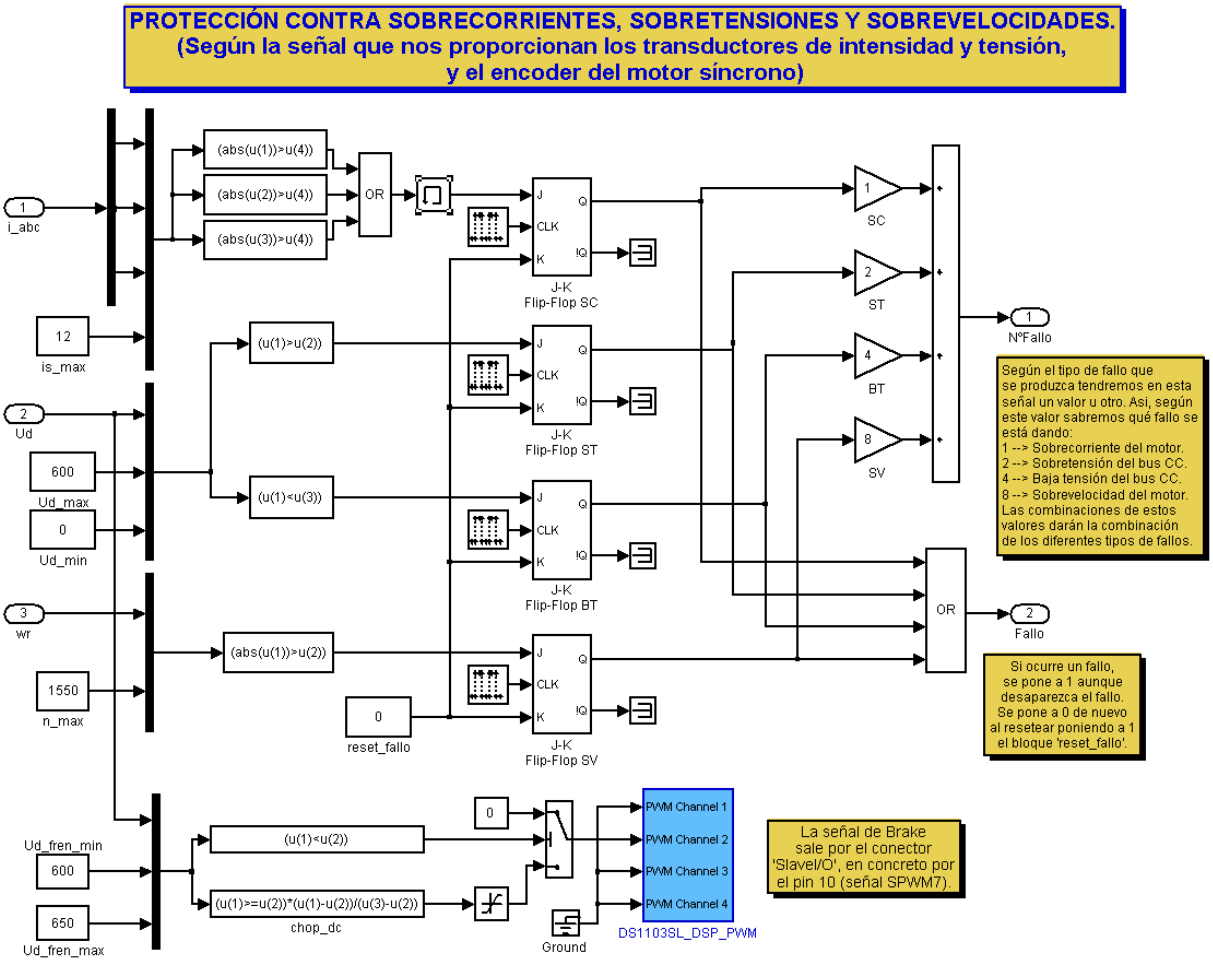


Fig. 21 Bloque de protección

Bloque "Control de fallos", ver Fig.22.

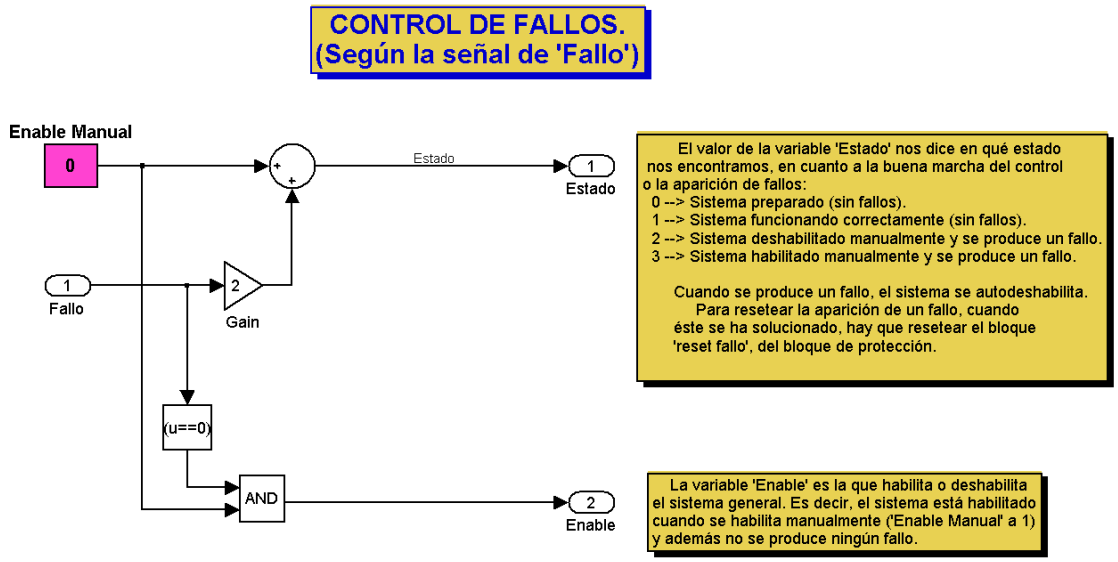


Fig.22 Control de fallos

Se encarga de controlar la señal de habilitación del sistema según la información que le proporciona el bloque de protección y según el estado del bloque “Enable Manual” (sus valores son 0 o 1 y se controla desde el panel de control de ControlDesk). Si dicho bloque está a 1 y no existe fallo, habilita, en caso contrario, deshabilita. Por otro lado se da peso a las dos señales capaces de deshabilitar para indicar en el panel de control el estado del sistema.

ANEXO V JUSTIFICACIÓN ALGORITMO SVPWM

En este anexo se realiza la demostración de la equivalencia del algoritmo SVPWM utilizado con la técnica PWM con inyección del tercer armónico.

En la Fig. 23 se pueden ver las principales formas de onda

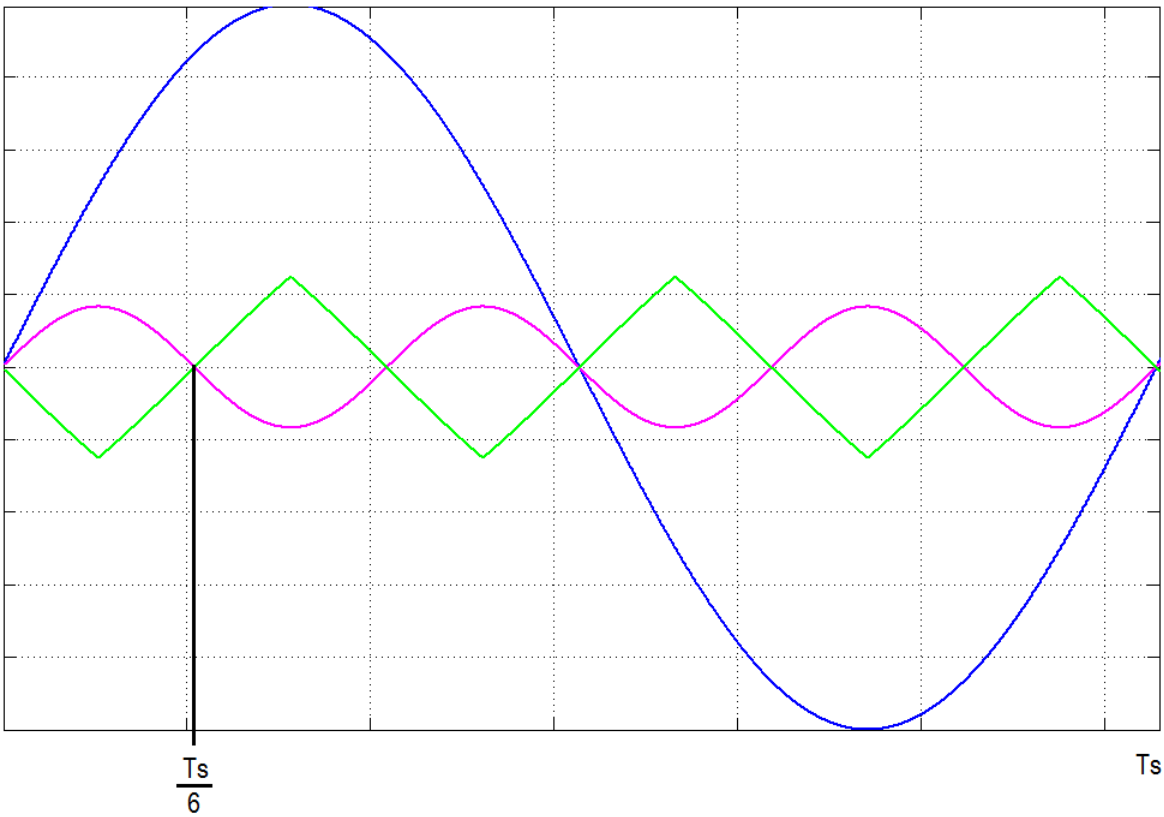


Fig. 23 Formas de onda PWM+ Tercer armónico

En la figura podemos ver, en azul, la señal de referencia senoidal, definida por:

$$E_0 \cdot \sin wt$$

El trazo rosa representa el tercer armónico, que en la técnica PWM + inyección de tercer armónico, se suma a la tensión de referencia para reducir el valor de pico. Este armónico viene expresado por:

$$\frac{E_0}{6} \cdot \sin 3wt$$

La técnica de PWM con tercer armónico se basa en que las pendientes de la señal de referencia y del tercer armónico son iguales en $t = \frac{Ts}{6}$, siendo Ts el periodo de la señal de referencia. Ahora vamos a igualar esa pendiente con la de la forma de onda pseudo triangular de trazo verde en el mismo punto, y calcular su amplitud , Vm.

Si igualamos las pendientes del tercer armónico (hallando su derivada) y la pseudo triangular en $t = \frac{Ts}{6}$ tenemos:

$$3 \cdot \frac{E_0}{6} \cdot w \cdot \cos\left(3 \cdot \frac{\pi}{3}\right) \cdot \frac{Ts}{12} = -V_m$$

Realizando simplificaciones, queda

$$V_m = E_0 \cdot \frac{\pi}{4 \cdot 3} = \frac{E_0}{4} \cdot 1.047$$

Por otro lado, si atendemos a la expresión del SVPWM:

$$\frac{v_{control,a}}{\hat{V}_{tri}} = \frac{v_a - v_k}{V_d/2}$$

Con:

$$v_k = \frac{Max(v_a, v_b, v_c) + Min(v_a, v_b, v_c)}{2}$$

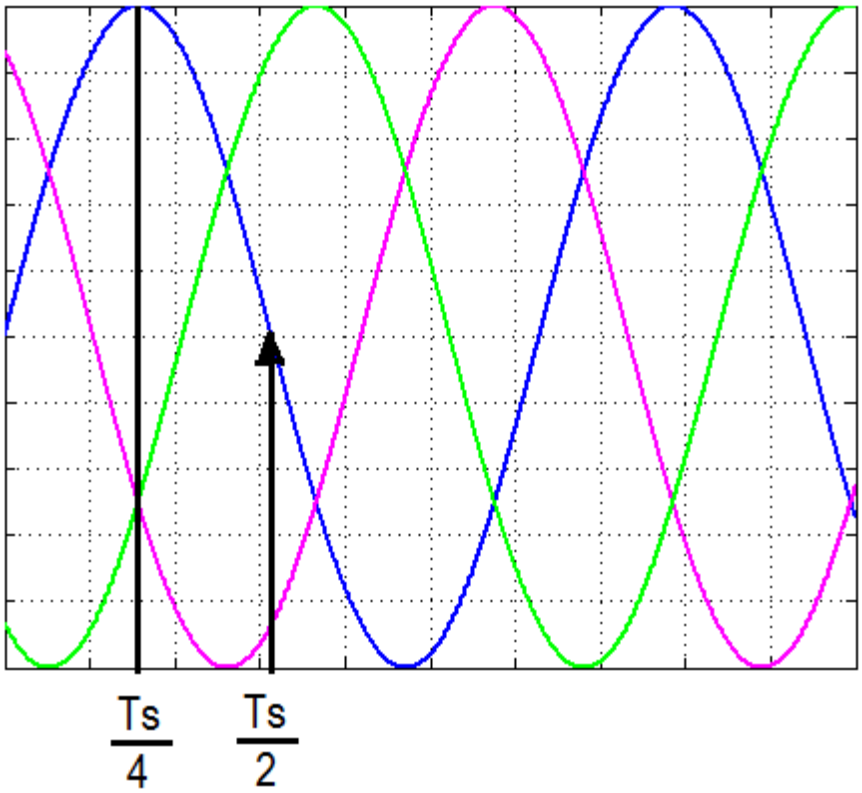


Fig.24 Sistema trifásico de señales

En la figura 24, se muestra un sistema trifásico de señales de referencia. El valor de v_k en $t = \frac{Ts}{4}$ es:

$$v_k = \frac{E_0 - \frac{E_0}{2}}{2} = \frac{E_0}{4}$$

El valor coincide aproximadamente con la amplitud de la onda pseudo triangular de la fig. 23, luego esa forma de onda corresponde al valor de offset v_k, con la misma pendiente que el tercer armónico, por lo tanto esta forma de implementación del SVPWM es una aproximación equivalente a la técnica PWM con inyección del tercer armónico. La diferencia está en que ambas formas de onda (tercer armónico y offset v_k) vienen desfasadas, el tercer armónico se suma a la tensión de referencia , mientras que el offset de tensión se resta.

ANEXO VI PROTOCOLO DE PUESTA EN MARCHA DE LA PLATAFORMA Y DEL CONTROL.

- **Protocolo de puesta en marcha de la plataforma de control para el motor asíncrono. A continuación se enumeran las fases consecutivas para poner la plataforma en marcha.**

1. Encender el PC y la tarjeta DS1103, abrir en ControlDesk el proyecto y el experimento del control del motor asíncrono.
2. Comprobar los parámetros del control (Todo deshabilitado).
3. Relajar la seta de emergencia.
4. Dar tensión al armario fijo (trifásica 400V), conectar los interruptores de DC (SDC) y después el interruptor principal (SPRAL, K1), ver Fig.25 colocada al final de este anexo, donde se muestra el esquema eléctrico del armario.
5. Configurar el armario del control del motor síncrono en "modo par", provisto del encoder de 2048 pulsos y entrando la referencia por la entrada analógica, hay que programar:

P0603	3	Entrada al menú de programación rápida.
P071	540	Valor de la tensión del bus de continua (380*1.41).
P095	1	Servomotor síncrono clase ROTEC 1FT6.
P096	43	Código del tipo de motor.
P130	3	Encoder de 2048 líneas.
P367	2	Control en modo Par.
P368	1	Entrada de referencia analógica por la tarjeta CUMC.
P370	1	Guarda los cambios realizados en los parámetros.
P060	0	Salida del menú de programación rápida.

6. Conectar el Inversor-DC (K3).
7. Conectar el Rectificador (K2).
8. Conectar la regleta de alimentación del armario móvil y ponerla en ON.
9. Conectar la alimentación del ventilador del motor síncrono.
10. Relajar la seta de emergencia de la botonera de control y pulsar el botón verde que conmuta el contactor de seguridad.
11. Conectar el autotransformador. (ir subiendo poco a poco la tensión hasta alcanzar 540 V.DC de tensión de bus del inversor el motor asíncrono).
12. Habilitar la carga mediante el interruptor ON-OFF del inversor del motor síncrono, en el armario fijo (es un mini interruptor)

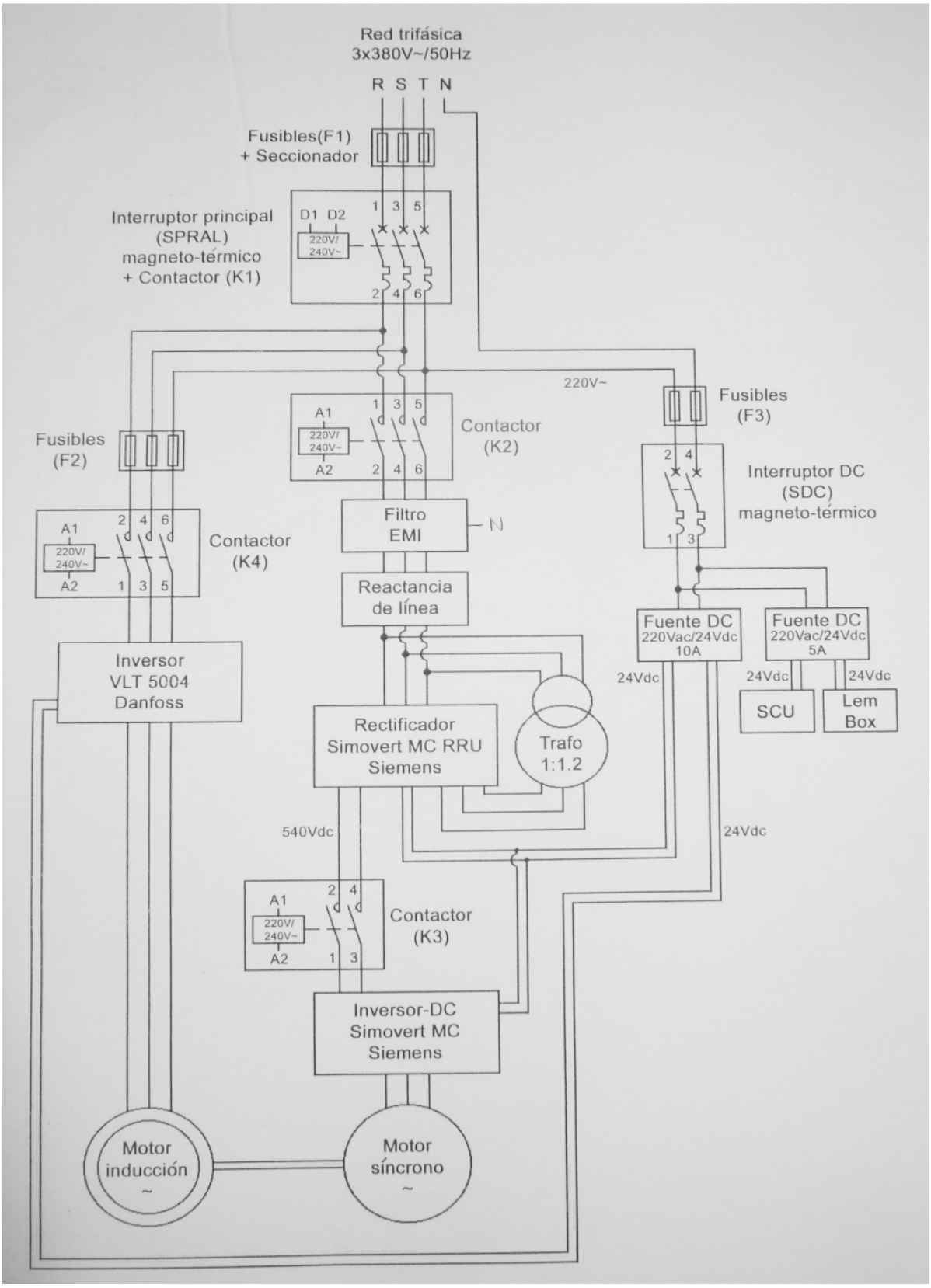


Fig. 25 Esquema eléctrico del armario

- **Protocolo de puesta en marcha del control para el motor asíncrono. A continuación se enumeran las fases consecutivas para poner el control en marcha.**

La posición de partida a la hora de manejar el panel de control es tener todo deshabilitado. El panel de control se muestra en la Fig. 6.1 de la pag. 33 de la memoria.

1. Comprobar los niveles de seguridad.
2. Comprobar las referencias de los lazos y sus habilitaciones.
3. Comenzar la calibración y la visualización de plotters.
4. Habilitar la carga.
5. Comprobar que el panel no indica ningún fallo, en caso de fallo, resetearlo.
6. Poner "Enable manual" en ON.

En caso de emergencia pulsar sobre el botón OFF del "Enable manual" o, por causa mayor, pulsar la seta de la botonera de control que abre el contactor de seguridad.

En caso de fallo el sistema se deshabilita automáticamente. Para volver a poner en marcha el control primero deshabilitar todo y poner las referencias a 0. Después resetear el fallo.

LISTADO DE TABLAS Y FIGURAS DE LOS ANEXOS

FIG. 1 ESQUEMA DE COMPONENTES Y DE INTERCONEXIONADO DE LA PLATAFORMA 12
FIG. 2 ESQUEMA DE CONEXIONES DE LA CAJA CP1103 15
FIG. 3 SEÑALES ANALÓGICAS Y LECTURA DEL ENCODER 15
FIG. 4 SEÑALES DEL CONECTOR "SLAVE I/O" 16
FIG. 5 MAPA DE LAS SEÑALES Y RTLIB FUNCTIONS 17
FIG. 6 CONEXIONES DE LA TARJETA DE OPTOACLOPADORES 24
FIG. 7 ESQUEMA GENERAL DE BLOQUES DE SIMULINK 34
FIG. 8 "CONTROL VECTORIAL DIRECTO TENSIÓN" 35
FIG. 9 "MODELO DE FLUJO" 35
FIG. 10 "CIRCUITO DE DESACOPLO EN TENSIÓN" 36
FIG. 11 TRANSFORMACIÓN DE CLARK 36
FIG. 12 TRANSFORMACIÓN DE PARK 37
FIG. 13 CÁLCULO DEL PAR 37
FIG. 14 REGULADOR DE VELOCIDAD 37
FIG. 15 CONTROL SVPWM Y MEDIDA DE CORRIENTES DEL MOTOR 38
FIG. 16 MEDIDA DE CORRIENTES DEL MOTOR ASÍNCRONO 39
FIG. 17 MEDIDA DEL BUS DE CONTINUA DEL INVERSOR SEMIKRON 39
FIG. 18 MEDIDA DEL PAR GENERADO 40
FIG. 19 MEDIDA DE LA VELOCIDAD. 40
FIG. 20 GENERACIÓN DEL PAR RESISTENTE 41
FIG. 21 BLOQUE DE PROTECCIÓN 42
FIG. 22 CONTROL DE FALLOS 42
FIG. 23 FORMAS DE ONDA PWM+ TERCER ARMÓNICO 44
FIG. 24 SISTEMA TRIFÁSICO DE SEÑALES 45
FIG. 25 ESQUEMA ELÉCTRICO DEL ARMARIO 48

TABLA I ESQUEMA DE CONEXIONES DEL PC 13
TABLA II ESQUEMA DE CONEXIONES DE LA TARJETA DS1103 14
TABLA III ESQUEMA DE CONEXIONES DEL MOTOR ASÍNCRONO 18
TABLA IV ESQUEMA DE CONEXIONES DEL MOTOR SÍNCRONO 19
TABLA V ESQUEMA DE CONEXIONES DEL INVERSOR DEL MOTOR SÍNCRONO 19
TABLA VI ESQUEMA DE CONEXIONES DEL INVERSOR DEL MOTOR ASÍNCRONO 20
TABLA VII ESQUEMA DE CONEXIONES DEL CONTACTOR DE SEGURIDAD 21
TABLA VIII ESQUEMA DE CONEXIONES DEL AUTOTRANSFORMADOR 21
TABLA IX ESQUEMA DE CONEXIONES DE LOS SENSORES DE CORRIENTE Y TENSIÓN. 22
TABLA X ESQUEMA DE CONEXIONES DEL ADAPTADOR DE NIVELES DE TENSIÓN. 23
TABLA XI ESQUEMA DE CONEXIONES DE LAS RESISTENCIAS DE FRENADO 23