

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Alcances	2
1.3. Objetivos	3
1.4. Estructura del trabajo	3
2. Antecedentes electromovilidad	5
2.1. Introducción	5
2.1.1. Contexto histórico	5
2.1.2. Planta motriz de un vehículo eléctrico	7
2.2. Sistema de acumulación	8
2.2.1. Baterías	8
2.2.1.1. Modelo de la batería	9
2.2.1.2. Tipos de baterías	10
2.3. Motores	12
2.3.1. Principales motores en electromovilidad	12
2.3.1.1. Motor de Corriente Continua	13
2.3.1.2. Motor de inducción	15
2.3.1.3. Motor sincrónico con escobillas	16
2.3.1.4. Motores de imanes permanentes sin escobillas	16
2.3.2. Comparación entre los motores presentados	17
2.3.3. Motores de imanes permanentes sin escobillas: PMS y PMBLDC	18
2.3.4. Modelo de PMBLDC	20
2.3.5. Esquema de control PMBLDC	24
2.4. Convertidores de potencia	26
2.4.1. Convertidor de onda completa	26
2.4.2. Convertidor PMBLDC de media onda	27
2.4.2.1. Enlace DC variable	27

2.5.	Freno regenerativo	29
2.5.1.	Modos de operación de un PMSM	29
2.5.2.	Convertidor step-up	31
2.5.3.	Freno regenerativo en un PMSM	32
2.5.3.1.	Velocidades cercanas a $\omega_r \max$	33
2.5.3.2.	Velocidades lejanas a $\omega_r \max$	34
2.5.3.3.	Consideraciones respecto a los algoritmos de frenado	35
2.6.	Controladores	36
2.6.1.	Control Clásico	36
2.6.2.	Control Inteligente	37
3.	Propuesta de diseño	38
3.1.	Controlador	40
3.1.1.	Algoritmos de conmutación	40
3.1.1.1.	Operación como motor o freno activo	41
3.1.1.2.	Operación de frenado regenerativo	42
3.1.2.	Control de torque	42
3.1.3.	Control de freno regenerativo	43
3.1.4.	Controlador integrado	44
3.2.	Simulaciones	47
3.2.1.	Algoritmos de conmutación	48
3.2.2.	Control de Torque	49
3.2.3.	Control de Freno regenerativo	51
3.3.	Componentes Principales	54
3.3.1.	Sistema de propulsión	54
3.3.1.1.	Sensores hall	55
3.3.2.	Acumuladores de energía	56
3.3.3.	Sistema de recarga	57
3.3.4.	Convertidor de potencia	58
3.3.5.	Unidad de control	59
3.4.	Diagramas de conexiones y Circuitos eléctricos	61
3.4.1.	Diagrama de potencia	62
3.4.2.	Módulos de control IPM	63
3.4.3.	Sensores de corriente	64
3.4.4.	Sensor de voltaje	64
4.	Implementación	66
4.1.	PCB	66

4.1.1.	Topología	67
4.1.1.1.	Niveles de voltaje	67
4.1.1.2.	EMI	69
4.1.1.3.	Circuitos de control	70
4.1.1.4.	Sensores	70
4.1.2.	Fabricación	71
4.2.	Programa	72
5.	Evaluación de desempeño	73
5.1.	Niveles de voltaje	73
5.2.	Operación de compuertas	74
5.3.	Funcionamiento de sensores	74
5.3.1.	Sensor de voltaje	74
5.3.2.	Sensores de corriente	75
5.4.	Comunicación con FPGA	76
5.5.	Algoritmo de conmutación	76
5.6.	Operación de frenado regenerativo	77
5.6.1.	Resultados	79
6.	Conclusiones y trabajos futuros	84
6.1.	Resultados	84
6.2.	Trabajo futuro	85
	Bibliografía	89
	Anexos	91
A.	Diagramas simulink	91
A.1.	Motochi E	92
A.2.	Conmutación	93
A.3.	Gates	94
A.4.	Decoder Dirección	95
A.5.	Modulación de torque	96
A.6.	Modulación de freno regenerativo	97
A.7.	Carga mecánica	98
B.	Esquemáticos	99
B.1.	Diagrama general de conexiones	100
B.2.	Diagrama de conexiones de alimentación	101

B.3. Fuentes DC/DC Señales	102
B.4. Diagrama de alimentación control IPM	103
B.5. Fuentes DC/DC control IPM	104
B.6. Diagrama de control IPM	105
B.7. Modulo control superior IPM	106
B.8. Modulo control inferior IPM	107
B.9. Sensores corrientes de fase	108
B.10. Sensor voltaje de batería	109
B.11. Conexiones digitales	110
B.12. Conexione analógicas	111
C. Capas PCB	112
C.1. Capa superior con top overlay	113
C.2. Capa inferior con bottom overlay –refeljada	114
C.3. Capa superior	115
C.4. Capa inferior –refeljada	116
D. Programa de control	117
D.1. Conmutación	118
D.2. Sensores hall y dirección	119
D.3. Dirección y fem	120
D.4. Modulación PWM torque	121
D.5. generador PWM	122
D.6. Controlador PI	122
D.7. ADC	126