

Índice

1. Introducción General	2
1.1. Introducción	2
1.2. Objetivos	5
1.2.1. General	5
1.2.2. Específicos	5
1.3. Hipótesis	5
1.4. Alcances	5
1.5. Metodología	6
2. El Convertidor Matricial Monofásico	7
2.1. Circuito de potencia	7
2.2. Modelo matemático	8
2.3. Restricciones de operación	9
2.4. Estados válidos de conmutación	17
2.5. Formas de onda típicas	18
3. Topologías Derivadas del Convertidor Matricial Monofásico	20
3.1. Topología con tres celdas	20
3.1.1. Circuito de potencia	21
3.1.2. Modelo matemático	22
3.2. Topología multinivel con 9 celdas	23
3.2.1. Circuito de potencia	23
3.2.2. Modelo matemático	25
4. Control Predictivo a Frecuencia Fija del Convertidor Matricial Monofásico	26
4.1. Esquema de control	26
4.2. Modelo de predicción	27
4.3. Función de costo	28
4.4. Patrón de conmutación	30
4.5. Algoritmo implementado	31
4.6. Resultados de simulación	32

4.6.1.	Estado estacionario	33
4.6.2.	Estado transiente	40
4.6.3.	Discusión	43
4.6.4.	Análisis de THD y error absoluto	43
5.	Control Predictivo a Frecuencia Fija de las Topologías Derivadas del Convertidor Matricial Monofásico	52
5.1.	Topología con tres celdas	52
5.1.1.	Esquema de control	52
5.1.2.	Modelo de predicción	53
5.1.3.	Función de costo	53
5.1.4.	Patrón de conmutación	54
5.1.5.	Algoritmo implementado	56
5.1.6.	Resultados de simulación	57
5.2.	Topología multinivel con 9 celdas	79
5.2.1.	Esquema de control	79
5.2.2.	Modelo de predicción	80
5.2.3.	Función de costo	81
5.2.4.	Patrón de conmutación	82
5.2.5.	Algoritmo implementado	83
5.2.6.	Resultados de simulación	85
6.	Conclusiones y Trabajo Futuro	107
6.1.	Conclusiones	107
6.2.	Trabajo futuro	108
7.	Anexos	111
7.1.	Control Predictivo a Frecuencia Fija para el Convertidor Matricial Monofásico	111
7.1.1.	Parámetros del sistema, archivo .m	111
7.1.2.	Parámetros del MC, archivo .h	112
7.1.3.	Modelo del convertidor en Simulink, bloque S-Function Builder	112
7.2.	Control Predictivo a Frecuencia Fija para la Topología de Tres Celdas	117

7.2.1.	Parámetros del sistema, archivo .m	117
7.2.2.	Parámetros del MC, archivo .h	118
7.2.3.	Modelo del convertidor para Fase A en Simulink, bloque S-Function Builder	119
7.2.4.	Modelo del convertidor para Fase B en Simulink, bloque S-Function Builder	123
7.2.5.	Modelo del convertidor para Fase A en Simulink, bloque S-Function Builder	126
7.3.	Control Predictivo a Frecuencia Fija para la Topología de Nueve Celdas	130
7.3.1.	Parámetros del sistema, archivo .m	130
7.3.2.	Parámetros del MC, archivo .h	131
7.3.3.	Modelo del convertidor para Fase A en Simulink, bloque S-Function Builder	133
7.3.4.	Modelo del convertidor para Fase B en Simulink, bloque S-Function Builder	140
7.3.5.	Modelo del convertidor para Fase C en Simulink, bloque S-Function Builder	148
7.4.	Tablas de estados válidos para topología de nueve celdas	156

Índice de Figuras

1.	Diagrama de bloques de un convertidor monofásico directo.	8
2.	Topología convertidor matricial monofásico.	8
3.	Cortocircuito en la fuente debido a dos switches encendidos.	11
4.	Estado inicial $i_o > 0$	12
5.	Paso 1: Apagar T_{B1}	12
6.	Paso 2: Encender T_{A2}	13
7.	Paso 3: Quitar el pulso a T_{A1}	14
8.	Paso 4: Encender T_{B2}	14
9.	Estado inicial $i_o > 0$	15
10.	Paso 1: Apagar T_{A1}	15
11.	Paso 2: Encender T_{A2}	16
12.	Paso 3: Quitar el pulso a T_{A1}	17
13.	Paso 4: Encender T_{B2}	17
14.	Señal de corriente entregada por el convertidor matricial monofásico.	19
15.	Circuito simplificado del MMMC-I	21
16.	Circuito simplificado del MMMC-II	24
17.	Esquema de control convertidor matricial monofásico	27
18.	Vectores disponibles para el convertidor matricial monofásico.	29
19.	Patrón de conmutación para los vectores óptimos.	31
20.	Patrón de conmutación para los vectores óptimos.	32
21.	Resultados control predictivo a frecuencia fija convertidor matricial monofásico a 50 [Hz] y 20 [Apk], con tiempo de muestreo de 10 [μ s].	34
22.	Resultados control predictivo a frecuencia fija convertidor matricial monofásico a 50 [Hz] y 50 [Apk], con tiempo de muestreo de 10 [μ s].	35
23.	Resultados control predictivo a frecuencia fija convertidor matricial monofásico a 50 [Hz] y 20 [Apk], con tiempo de muestreo de 25 [μ s].	36
24.	Resultados control predictivo a frecuencia fija convertidor matricial monofásico a 50 [Hz] y 50 [Apk], con tiempo de muestreo de 25 [μ s].	37
25.	Acercamiento del patrón de conmutación.	38

26.	Resultados en estado transiente del control predictivo a frecuencia fija, convertidor matricial monofásico a 50 [Hz] y 20 [A _{pk}], con tiempo de muestreo de 10 [μ s].	40
27.	Resultados en estado transiente control predictivo a frecuencia fija convertidor matricial monofásico a 50 [Hz] y 20 [A _{pk}], con tiempo de muestreo de 25 [μ s].	41
28.	THD convertidor matricial monofásico con tiempo de muestreo de 10 [μ s] y corriente de 20 [A].	44
29.	THD convertidor matricial monofásico con tiempo de muestreo de 20 [μ s] y corriente de 20 [A].	45
30.	THD convertidor matricial monofásico con tiempo de muestreo de 50 [μ s] y corriente de 20 [A].	46
31.	THD convertidor matricial monofásico con tiempo de muestreo de 10 [μ s] y corriente de 50 [A].	47
32.	THD convertidor matricial monofásico con tiempo de muestreo de 20 [μ s] y corriente de 50 [A].	48
33.	THD convertidor matricial monofásico con tiempo de muestreo de 50 [μ s] y corriente de 50 [A].	49
34.	Esquema de control topología con tres celdas.	52
35.	Patrón de conmutación para los vectores óptimos del convertidor matricial A.	54
36.	Patrón de conmutación para los vectores óptimos del convertidor matricial B.	55
37.	Patrón de conmutación para los vectores óptimos del convertidor matricial C.	55
38.	Algoritmo aplicado para la topología de tres celdas.	56
39.	Resultados de corriente control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología de tres celdas a 50 [Hz] y 20 [A], con un tiempo de muestreo de 10 [μ s].	59
40.	Resultados de voltaje control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología de tres celdas a 50 [Hz] y 20 [A], con un tiempo de muestreo de 10 [μ s].	60

41.	Resultados de corriente control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología de tres celdas a 50 [Hz] y 50 [A], con un tiempo de muestreo de 10 [μ s].	61
42.	Resultados de voltaje control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología de tres celdas a 50 [Hz] y 50 [A], con un tiempo de muestreo de 10 [μ s].	62
43.	Resultados de corriente en estado transiente del control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología de tres celdas, a 50 [Hz] y 20 [A], con un tiempo de muestreo de 10 [μ s].	63
44.	Resultados de voltaje en estado transiente del control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología de tres celdas, a 50 [Hz] y 20 [A], con un tiempo de muestreo de 10 [μ s].	64
45.	THD corrientes control predictivo aplicado a la topología de 3 celdas, con tiempo de muestreo de 10 [μ s] y corriente de 20 [Apk].	67
46.	THD voltajes control predictivo aplicado a la topología de 3 celdas, con tiempo de muestreo de 10 [μ s] y corriente de 20 [Apk].	68
47.	THD corrientes control predictivo aplicado a la topología de 3 celdas, con tiempo de muestreo de 20 [μ s] y corriente de 20 [Apk].	69
48.	THD voltajes control predictivo aplicado a la topología de 3 celdas, con tiempo de muestreo de 20 [μ s] y corriente de 20 [Apk].	70
49.	THD corrientes control predictivo aplicado a la topología de 3 celdas, con tiempo de muestreo de 50 [μ s] y corriente de 20 [Apk].	71
50.	THD voltajes control predictivo aplicado a la topología de 3 celdas, con tiempo de muestreo de 50 [μ s] y corriente de 20 [Apk].	72
51.	THD corrientes control predictivo aplicado a la topología de 3 celdas, con tiempo de muestreo de 10 [μ s] y corriente de 50 [Apk].	73
52.	THD voltajes control predictivo aplicado a la topología de 3 celdas, con tiempo de muestreo de 10 [μ s] y corriente de 50 [Apk].	74
53.	THD corrientes control predictivo aplicado a la topología de 3 celdas, con tiempo de muestreo de 20 [μ s] y corriente de 50 [Apk].	75
54.	THD voltajes control predictivo aplicado a la topología de 3 celdas, con tiempo de muestreo de 20 [μ s] y corriente de 50 [Apk].	76

55.	THD corrientes control predictivo aplicado a la topología de 3 celdas, con tiempo de muestreo de 50 $[\mu s]$ y corriente de 50 [Apk].	77
56.	THD voltajes control predictivo aplicado a la topología de 3 celdas, con tiempo de muestreo de 50 $[\mu s]$ y corriente de 50 [Apk].	78
57.	Esquema de control Convertidor Matricial Monofásico	79
58.	Patrón de conmutación para los vectores óptimos.	82
59.	Algoritmo aplicado para la topología de nueve celdas.	84
60.	Resultados de corriente control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología multinivel de 9 celdas a 10 $[\mu s]$ y 20 [A].	87
61.	Resultados de voltaje control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología multinivel de 9 celdas a 10 $[\mu s]$ y 20 [A].	88
62.	Resultados de corriente control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología multinivel de 9 celdas a 10 $[\mu s]$ y 150 [A].	89
63.	Resultados de voltaje control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología multinivel de 9 celdas a 10 $[\mu s]$ y 150 [A].	90
64.	Resultados de corriente en estado transiente del control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología multinivel de 9 celdas a 50 [Hz] y 20 [A].	91
65.	Resultados de voltaje en estado transiente del control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología multinivel de 9 celdas a 50 [Hz] y 20 [A].	92
66.	THD corrientes control predictivo aplicado a la topología de 9 celdas, con tiempo de muestreo de 10 $[\mu s]$ y corriente de 20 [Apk].	95
67.	THD voltajes control predictivo aplicado a la topología de 9 celdas, con tiempo de muestreo de 10 $[\mu s]$ y corriente de 20 [Apk].	96
68.	THD corrientes control predictivo aplicado a la topología de 9 celdas, con tiempo de muestreo de 20 $[\mu s]$ y corriente de 20 [Apk].	97
69.	THD voltajes control predictivo aplicado a la topología de 9 celdas, con tiempo de muestreo de 20 $[\mu s]$ y corriente de 20 [Apk].	98
70.	THD corrientes control predictivo aplicado a la topología de 9 celdas, con tiempo de muestreo de 50 $[\mu s]$ y corriente de 20 [Apk].	99

71.	THD voltajes control predictivo aplicado a la topología de 9 celdas, con tiempo de muestreo de 50 $[\mu s]$ y corriente de 20 [Apk].	100
72.	THD corrientes control predictivo aplicado a la topología de 9 celdas, con tiempo de muestreo de 10 $[\mu s]$ y corriente de 150 [Apk].	101
73.	THD voltajes control predictivo aplicado a la topología de 9 celdas, con tiempo de muestreo de 10 $[\mu s]$ y corriente de 150 [Apk].	102
74.	THD corrientes control predictivo aplicado a la topología de 9 celdas, con tiempo de muestreo de 20 $[\mu s]$ y corriente de 15 [Apk].	103
75.	THD voltajes control predictivo aplicado a la topología de 9 celdas, con tiempo de muestreo de 20 $[\mu s]$ y corriente de 150 [Apk].	104
76.	THD corrientes control predictivo aplicado a la topología de 9 celdas, con tiempo de muestreo de 50 $[\mu s]$ y corriente de 150 [Apk].	105
77.	THD voltajes control predictivo aplicado a la topología de 9 celdas, con tiempo de muestreo de 50 $[\mu s]$ y corriente de 150 [Apk].	106

Índice de Tablas

1.	Estados válidos conmutación de 4 pasos	11
2.	Estados válidos de conmutación del convertidor matricial 3x1	18
3.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1	22
4.	Parámetros pruebas control predictivo a frecuencia fija del convertidor matricial monofásico.	33
5.	Resultados porcentaje THD del control predictivo a frecuencia fija en el convertidor matricial monofásico.	50
6.	Resultados porcentaje THD del control predictivo a frecuencia fija en el convertidor matricial monofásico en estado estacionario.	51
7.	Resultados porcentaje THD del control predictivo a frecuencia fija en el convertidor matricial monofásico en estado transiente.	51
8.	Parámetros pruebas control predictivo a frecuencia fija del convertidor matricial monofásico.	57
9.	Resultados porcentaje THD del control predictivo a frecuencia fija para la topología de tres celdas en el convertidor matricial monofásico.	65
10.	Resultados error absoluto de corriente del control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología de tres celdas en estado estacionario.	66
11.	Resultados error absoluto de corriente del control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología de tres celdas en estado transiente.	66
12.	Parámetros pruebas control predictivo a frecuencia fija del convertidor matricial monofásico.	85
13.	Resultados porcentaje THD del control predictivo a frecuencia fija para la topología de nueve celdas en el convertidor matricial monofásico.	93
14.	Resultados error de corriente calculado del control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología de tres celdas en estado estacionario.	94
15.	Resultados error de corriente calculado del control predictivo a frecuencia fija aplicado a la topología de tres celdas en estado transiente.	94
16.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1	156
17.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1	157
18.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1	158
19.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1	159

52.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	186
53.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	187
54.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	187
55.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	188
56.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	189
57.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	189
58.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	190
59.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	191
60.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	191
61.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	192
62.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	192
63.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	193
64.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	194
65.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	195
66.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	195
67.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	196
68.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	197
69.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	197
70.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	198
71.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	199
72.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	200
73.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	201
74.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	202
75.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	203
76.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	204
77.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	205
78.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	206
79.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	207
80.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	208
81.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	208
82.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	209
83.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	210

84.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	210
85.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	211
86.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	212
87.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	212
88.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	213
89.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	213
90.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	214
91.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	215
92.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	216
93.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	216
94.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	217
95.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	218
96.	Estados válidos de conmutación de cada convertidor matricial 3x1 . . .	218