

Tabla de Contenido

Índice de Tablas	x
Índice de Ilustraciones	xi
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos y alcances	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.2.3. Alcances	4
2. Marco teórico	5
2.1. Principios de conversión de la energía eólica	5
2.1.1. Potencia extraída por un aerogenerador	5
2.2. Control de los sistemas de conversión eólica	7
2.2.1. Seguimiento de la máxima potencia	8
2.2.2. Conexión de sistemas de conversión eólicos a la red	10
2.3. Generadores de inducción doblemente alimentados	12
2.4. Transformaciones $\alpha\beta$ y dq	13
2.4.1. Transformada $\alpha\beta$	13
2.4.2. Transformada dq	14
2.5. Modelamiento generadores de inducción doblemente alimentados	15
2.5.1. Modelo en ejes rotatorios arbitrarios	15
2.5.2. Ecuaciones del DFIG en ejes estacionarios $\alpha\beta$	16
2.5.3. Modelo en ejes dq	18
2.5.4. Estrategias de control del DFIG	18
2.5.5. Potencia y modos de operación del DFIG	19
2.6. Control Maximum power point tracking (MPPT) en DFIG	20
2.7. Requerimientos de convertidores para sistemas de conversión de energía eólica (WECSs) multi-MW	21
2.7.1. Requerimientos lado de la red	22
2.7.2. Requerimientos del lado del generador	23
2.7.3. Requerimientos de los dispositivos semiconductores	23
2.7.4. Requerimientos del sistema de accionamiento	24
2.8. Convertidores empleados en los sistemas de generación eólica	24
2.8.1. Convertidores de dos niveles	24

2.8.2.	Convertidores multiniveles	25
2.8.3.	Topologías de convertidores multiniveles clásicos	27
2.9.	Convertidores modulares multiniveles en cascada	28
2.9.1.	Convertidores MMCC AC-AC	29
3.	Modelación del M^3C	35
3.1.	Introducción	35
3.2.	Topología y generales	35
3.3.	Modelo de tensión-corriente	37
3.4.	Modelo de potencia-tensión del capacitor	41
3.4.1.	Potencias de clúster en coordenadas $\alpha\beta 0^2$	42
3.5.	Análisis de las componentes oscilatorias y condiciones críticas	43
3.5.1.	Componentes oscilatorias en coordenadas $\alpha\beta 0^2$	44
3.5.2.	Clasificación de las oscilaciones y grados de libertad de control	44
3.6.	Transformación $\Sigma\Delta$ del modelo de potencia-tensión	45
3.6.1.	Componentes oscilatorias de CCV en coordenadas $\alpha\beta 0^2 - \Sigma\Delta$	45
3.6.2.	Modelo de tensión-potencia CCV en coordenadas $\alpha\beta 0^2 - \Sigma\Delta$	46
3.7.	Modelo vectorial Tensión-Potencia CCV	47
4.	Metodología	50
4.1.	Diseño y control del generador con convertidor	50
4.2.	Análisis del comportamiento DFIG+ M^3C en fallas trifásicas sin balanceo	51
4.3.	Análisis del comportamiento DFIG+ M^3C en fallas asimétricas sin balanceo	52
4.4.	Modelo y simulaciones	52
4.5.	Análisis de resultados y propuestas	53
5.	Control del M^3C	54
5.1.	Control vectorial de balanceo CCV	55
5.1.1.	Balanceo de componentes intra de CCV	56
5.1.2.	Balanceo de componentes inter de CCV	58
5.2.	Control de corrientes circulantes	59
5.3.	Control de balanceo medio v_{c00}	60
5.4.	Control de balanceo de celda y modelo de celda puente H	61
5.4.1.	Modelo de celda puente H	61
6.	Operación y control del DFIG mediante M^3C bajo fallas trifásicas	63
6.1.	Comportamiento dinámico del DFIG bajo caídas de tensión simétricas	64
6.1.1.	Operación normal	64
6.1.2.	Comportamiento dinámico frente a una caída de tensión	66
6.2.	Comportamiento general de la operación del DFIG con el convertidor M^3C bajo fallas simétricas	68
6.2.1.	Límites tensiones de clústers	69
6.2.2.	Tensión de cluster en aplicación al DFIG	70
6.2.3.	Tensiones desde el punto de vista del rotor	74
6.3.	Control del DFIG bajo fallas trifásicas	75
6.3.1.	Modelo de la turbina eólica	75
6.3.2.	Control MPPT	77

6.3.3.	Control de corrientes de rotor	77
6.3.4.	Control de la potencia activa y reactiva de estator	79
6.4.	Control del lado de la red	80
7.	Operación y control del DFIG mediante M^3C bajo fallas asimétricas	82
7.1.	Comportamiento del DFIG bajo fallas asimétricas	82
7.1.1.	Fallas monofásicas	85
7.1.2.	Fallas bifásicas entre fases	86
7.1.3.	Convertor conectado al rotor y corrientes	87
7.2.	Comportamiento general del DFIG con el convertor M^3C bajo fallas asimétricas	88
7.2.1.	Comportamiento visto desde el rotor	88
7.2.2.	Comportamiento en la tensión de cluster	90
7.3.	Control del DFIG y el M^3C bajo fallas asimétricas	92
7.3.1.	Modelo de la máquina en secuencias y control	92
7.3.2.	Potencias de estator y referencia de corrientes	94
7.3.3.	Control de lado de la red del M^3C bajo fallas asimétricas	96
7.4.	Esquemas de protección frente a fallas mediante crowbar	98
7.4.1.	Dimensionamiento del crowbar	99
8.	Simulaciones	124
8.1.	Caso de estudio	124
8.2.	Operación a velocidad fija	127
8.3.	Operación a velocidad variable	137
8.4.	Resultados simulación frente a fallas simétricas y LVRT	152
8.5.	Resultados simulación frente a fallas asimétricas y LVRT	164
8.5.1.	Resultados control DFIG con convertor M^3C bajo fallas asimétricas .	164
8.5.2.	Controlabilidad de corrientes en fallas asimétricas	174
8.6.	Operación del DFIG ante fallas mediante el convertor M^3C y sistema de protección <i>crowbar</i>	183
8.6.1.	Resultados bajo falla asimétrica monofásica total	183
8.6.2.	Resultados bajo falla asimétrica bifásica total	186
8.6.3.	Resultados bajo falla trifásica total empleando transformador en el rotor	189
9.	Conclusiones y trabajo futuro	194
9.1.	Conclusiones	194
9.2.	Trabajo futuro	196
10.	Bibliografía	197