

Índice general

1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. General	17
1.2. Turbina eólica	18
1.2.1. Estructura aerodinámica de una turbina eólica	19
1.2.2. Conexión entre el generador y los álabes	19
1.3. Transmisión de variación continua	21
1.3.1. Transmisión mecánica	21
1.3.2. Tipos de transmisiones mecánicas	23
1.3.3. Trasmisión de variación continua	23
1.4. Generador eléctrico	25
1.4.1. Conversión de energía	26
1.4.2. Energía almacenada en un circuito magnético	29
1.4.3. Máquina electromagnética	30
1.4.4. Analogía con un transformador	32

1.4.5.	Tipos de generadores eléctricos	33
2.	Modelado Matemático	41
2.1.	Turbina eólica	41
2.1.1.	Potencia generada por una turbina	41
2.1.2.	Coefficiente de desempeño	47
2.1.3.	Modelos matemáticos del coeficiente de potencia	49
2.2.	Transmisión mecánica	50
2.2.1.	Caja de engranes	50
2.2.2.	Transmisión de variación continua	51
2.3.	Generador Eléctrico	54
2.3.1.	Coordenadas DQ0	54
2.3.2.	El generador de inducción	56
2.3.3.	Obtención de los parámetros del generador de inducción	65
2.3.4.	Generador de inducción autoexcitado	66
2.3.5.	Inductancia de magnetización	67
2.3.6.	Modelo del generador de inducción con capacitores conectados al estator	70
2.3.7.	Modelo del generador de inducción con carga y capacitores conectados al estator	72
2.3.8.	Simulación del generador de inducción mediante Simulink	73
3.	Diseño del controlador	81

3.1. Características del sistema	81
3.1.1. Transferencia de pares	82
3.1.2. Operación de la CVT	84
3.1.3. Medición de la frecuencia	84
3.2. Control del sistema mediante la CVT	86
3.2.1. Señales del sistema	87
3.2.2. Controlador	90
4. Resultados de la simulación del controlador	99
4.1. Acoplamiento entre la turbina eólica y CVT	99
4.2. Acoplamiento entre CVT y generador eléctrico	104
4.3. Desempeño general del sistema	115
4.4. Convertidor de voltaje	116
5. Conclusiones	119

Índice de figuras

1.1. Un tipo de diseño del centro de los álabes de una turbina eólica . . .	20
1.2. Esquema de funcionamiento de las transmisiones mecánicas	22
1.3. CVT a base de poleas de diámetro variable	24
1.4. CVT tipo toroidal	25
1.5. Ejemplo de la inducción de un flujo magnético en un conductor por el cual se hace pasar una corriente eléctrica	26
1.6. En la figura se representa la dirección de la fuerza generada por el campo magnético	28
1.7. Campo magnético generado en un solenoide	28
1.8. Representación de una máquina eléctrica de forma simplificada, con un solo devanado	32
1.9. Representación de una máquina eléctrica de forma simplificada, con doble devanado	33
1.10. Esquema de un generador eléctrico en una comparativa con un transformador de una ventana, a) transformador de ventana, b) generador eléctrico	34
1.11. Esquema de un generador síncrono y los campos magnéticos que interactúan	37

1.12. Diagrama fasorial del voltaje generado por fase a partir del voltaje inducido y las perdidas por impedancia del estator	37
1.13. Esquema simplificado de una maquina de induccion trifasica	40
2.1. Esquema representativo del sistema	42
2.2. Turbina de eje horizontal	42
2.3. Turbina de eje vertical	43
2.4. Esquema del desplazamiento de una masa de aire m sobre el área que cubren los álabes	44
2.5. Desplazamiento de un masa de aire con volumen V_a , que pasa desde un punto lejos de la turbina hasta atravesar la sección transversal que cubren los álabes de la turbina	45
2.6. Diagrama representativo de la transmisión de variación continua	51
2.7. Diagrama representativo de la caja de engranes	52
2.8. Diagrama de bloques del control de una CVT	53
2.9. Diagrama simplificado de la unión entre la transmisión y el generador eléctrico	54
2.10. Sistema de ejes trifásicos sobre ejes dq	55
2.11. Representación de una máquina eléctrica con dos bobinas en el estator y dos el rotor	57
2.12. Circuito equivalente de cada bobina del estator	58
2.13. Circuito equivalente de cada bobina del rotor	59
2.14. Circuito equivalente por fase de la máquina de inducción	59
2.15. (a) Circuito equivalente en el eje d . (b) Circuito equivalente en el eje q	60

2.16. Ajuste con curva de 4° orden para la inductancia de magnetización	68
2.17. Inductancia de magnetización en función de la corriente de magnetización	68
2.18. Esquema de un generador de inducción representado en coordenadas DQ con capacitores conectados al estator	70
2.19. Esquema de un generador de inducción representado en coordenadas DQ con capacitores y carga conectados al estator	73
2.20. Diagrama de bloques usado para la simulación del generador de inducción autoexcitado	74
2.21. Voltaje generado por el generador de inducción autoexcitado	75
2.22. Detalle del voltaje generado	75
2.23. Velocidad del rotor de la máquina de inducción	76
2.24. Frecuencia del voltaje generado	76
2.25. Diagrama de bloques de la simulación del generador de inducción autoexcitado con carga	77
2.26. Velocidad del rotor del generador de inducción autoexcitado con carga	78
2.27. Voltaje del generador de inducción autoexcitado	79
2.28. Frecuencia del voltaje del generador de inducción autoexcitado	79
3.1. Diagrama de bloques de los elementos acoplados mecánicamente	83
3.2. Diagrama de bloques de la CVT en la simulación del sistema	84
3.3. Magnitud de la frecuencia medida con el método de cruce por cero	86
3.4. Velocidad angular del rotor del generador de inducción ω_r	88
3.5. Función de viento utilizada para 15 segundos de simulación	89

3.6.	Trayectoria de la inductancia de magnetización	91
3.7.	Diagrama de bloques del sistema con controladores	92
3.8.	Diagrama de bloques del control de autoexcitación. Control 1 en la figura 3.7	94
3.9.	Diagrama de bloques del control del generador con carga. Control 2 en la figura 3.7	97
3.10.	Diagrama de bloques del control de autoexcitación discretizado . . .	98
3.11.	Diagrama de bloques del control del generador con carga discretizado	98
4.1.	Señal de viento utilizada en la simulación	100
4.2.	Velocidad angular del rotor de la turbina eólica	101
4.3.	Velocidad de salida de la caja de engranes	101
4.4.	Par transferido de la CVT hacia la caja de engranes	102
4.5.	Par transferido de la caja de engranes hacia la turbina	103
4.6.	Potencia de la turbina	103
4.7.	Par de la turbina	104
4.8.	Velocidad angular del rotor	105
4.9.	Par transferido hacia el rotor del generador	106
4.10.	Velocidad de la CVT transferida al generador, periodo [0-2.5] s . . .	107
4.11.	Velocidad de la CVT transferida al generador, periodo [2.5-10] s . .	107
4.12.	Velocidad de la CVT transferida al generador	108
4.13.	Trayectoria de la señal de control	109

4.14. Frecuencia de la señal de voltaje generada	110
4.15. Detalle de la señal de frecuencia	110
4.16. Detalle de la señal de frecuencia	111
4.17. Voltaje del generador	111
4.18. Detalle del voltaje del generador	112
4.19. Corriente del generador	112
4.20. Detalle del corriente del generador	113
4.21. Potencia del generador en frecuencia constante	114
4.22. Inductancia de magnetización	114
4.23. Frecuencia medida con el control digital	115

