

Escuela Técnica Superior de Ingenieros



Ingeniería Industrial (Electrónica Industrial)

Departamento de Tecnología Electrónica

PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL
PREDICTIVO PARA EL ACCIONAMIENTO
DE LA MÁQUINA DE RELUCTANCIA
CONMUTADA DE UN SISTEMA DE
ALMACENAMIENTO CINÉTICO PARA LA
MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA
EDIFICACIÓN.**

AUTOR: JAVIER VILLEGAS NÚÑEZ

TUTOR: SERGIO VÁZQUEZ PÉREZ

Sevilla, septiembre de 2009

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PREDICTIVO PARA EL ACCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE RELUCTANCIA CONMUTADA DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO CINÉTICO PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA EDIFICACIÓN
	Autor: JAVIER VILLEGAS NÚÑEZ
	Tutor: SERGIO VÁZQUEZ PÉREZ

Agradecimientos

A mi familia, que siempre ha confiado en mí. En especial, a mi padre y mi hermano, que siempre me han apoyado.

A Oliva, por su incondicional apoyo y comprensión.

A todos los miembros del laboratorio de potencia, en especial a Sergio, por toda su ayuda, sus valiosos consejos y dedicación al trabajo en todo momento.

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PREDICTIVO PARA EL ACCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE RELUCTANCIA CONMUTADA DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO CINÉTICO PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA EDIFICACIÓN
	Autor: JAVIER VILLEGAS NÚÑEZ
	Tutor: SERGIO VÁZQUEZ PÉREZ

ÍNDICE

<i>CAPÍTULO 1. Introducción</i>	<i>8</i>
1. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN	9
2. EL EDIFICIO COMO FUENTE Y CONSUMIDOR DE ENERGÍA	11
2.1. El edificio como consumidor de energía	11
2.2. El edificio como fuente de energía	13
3. NECESIDAD DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO EN LOS EDIFICIOS.....	15
4. OBJETIVOS DEL PROYECTO	18
<i>CAPÍTULO 2. Sistemas de almacenamiento</i>	<i>19</i>
1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO PARA EDIFICIOS	20
2. SISTEMAS BASADOS EN BATERÍAS	22
3. SISTEMAS BASADOS EN SUPERCONDENSADORES.....	24
4. SISTEMAS BASADOS EN VOLANTES DE INERCIA	27
5. SISTEMAS HÍBRIDOS	32
5.1. Baterías junto a volantes de inercia.....	32
5.2. Baterías junto a supercondensadores	33
6. COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO PARA LA EDIFICACIÓN	34
6.1. Análisis tecnológico.....	34
6.2. Análisis económico	37
6.3. Integración de sistemas de almacenamiento en edificios	39
6.4. Conclusiones	42
<i>CAPÍTULO 3. Sistemas de almacenamiento cinéticos de energía</i>	<i>43</i>
1. INTRODUCCIÓN.....	44

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PREDICTIVO PARA EL ACCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE RELUCTANCIA CONMUTADA DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO CINÉTICO PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA EDIFICACIÓN
	Autor: JAVIER VILLEGAS NÚÑEZ
	Tutor: SERGIO VÁZQUEZ PÉREZ

2. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS	44
3. CLASIFICACIÓN	47
4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	47
5. FACTORES RELEVANTES EN ALMACENADORES CINÉTICOS	49
5.1. Energía almacenada	49
5.2. Material	51
5.3. Geometría de los volantes de inercia.	52
5.4. Los rodamientos	53
5.5. Pérdidas de energía	53
5.6. Seguridad	54
6. APLICACIONES	55
7. PRINCIPALES FABRICANTES.....	58
8. TENDENCIAS FUTURAS	59
<i>CAPÍTULO 4. Máquinas de reluctancia conmutada (MRC).....</i>	<i>60</i>
1. ORIGEN Y EVOLUCIÓN HISTÓRICA	61
2. VENTAJAS E INCONVENIENTES.....	62
3. APLICACIONES	65
4. MRC EN SISTEMAS DE ALMACENAMIENTOS CINÉTICO DE ENERGÍA	66
5. CONSTITUCIÓN Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	67
5.1. Constitución	67
5.2. Principio de funcionamiento.....	69
5.3. Producción del par	74
6. CARACTERÍSTICA PAR-VELOCIDAD	75
7. ACCIONAMIENTO DE LAS MRC	77
7.1. Convertidores estáticos para MRC.....	77

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PREDICTIVO PARA EL ACCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE RELUCTANCIA CONMUTADA DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO CINÉTICO PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA EDIFICACIÓN
	Autor: JAVIER VILLEGAS NÚÑEZ
	Tutor: SERGIO VÁZQUEZ PÉREZ

7.2. Medida de la posición	81
----------------------------------	----

CAPÍTULO 5. Diseño de un sistema de almacenamiento de energía cinética en un edificio.83

1. INTRODUCCIÓN.....	84
2. GESTIÓN DE LA ENERGÍA	85
3. SITUACIÓN DE DISEÑO.....	89
3.1. Edificio tipo	89
3.2. Sistema global	91
3.3. Especificaciones de Diseño	93
3.4. Configuración del sistema de almacenamiento	94
3.5. Escenarios de Funcionamiento	95
4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS EN LA ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO EN ESTUDIO	96
4.1. Parámetros de selección del volante de inercia	97
4.2. Parámetros de selección de la MRC.....	97
4.3. Característica del convertidor de potencia	102

CAPÍTULO 6. Modelado de la máquina de reluctancia conmutada..... 104

1. CARACTERÍSTICAS ELECTROMAGNÉTICAS	105
1.1. Caracterización electromagnética	108
2. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS EN LA MRC	109
3. MODELOS DE MRC	114
3.1. Modelos lineales	115
3.2. Modelos no lineales.	117
3.3. Modelos no lineales simplificados.	120
3.4. Modelo adecuado para nuestra aplicación.....	121
4. PROGRAMA INFORMÁTICO	121
5. MODELO DE LA MRC IMPLEMENTADO	123



	DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PREDICTIVO PARA EL ACCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE RELUCTANCIA CONMUTADA DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO CINÉTICO PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA EDIFICACIÓN
	Autor: JAVIER VILLEGAS NÚÑEZ
	Tutor: SERGIO VÁZQUEZ PÉREZ

5.1. Modelo matemático	123
5.2. Modelo eléctrico	125
5.3. Modelo mecánico	127
6. IMPLEMENTACIÓN EN PSCAD	128
6.1. MRC a modelar.	137
 <i>CAPÍTULO 7. Control de una máquina de RELUCTANCIA AUTOCONMUTADA de accionamiento en un sistema de almacenamiento cinético</i>	<i>139</i>
1. INTRODUCCIÓN.....	140
2. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA A CONTROLAR	140
3. OBTENCIÓN DE LA POTENCIA DE REFERENCIA A PARTIR DEL CONTROL DE LA PLANTA	143
4. CONTROL DE LA MRC.....	145
4.1. Introducción.....	145
4.2. Obtención de la potencia mecánica de referencia a partir del control de la potencia de referencia del sistema de almacenamiento.....	146
4.3. Obtención del par de referencia a partir de la potencia mecánica de referencia a partir del lazo de control externo	150
4.4. Control del par instantáneo	152
4.5. Control predictivo del par basado en modelo	153
4.6. Ley de control	163
4.7. Implementación en PSCAD y sintonización.....	192
5. SIMULACIONES Y CONCLUSIONES DEL CONTROL IMPLEMENTADO	196
5.1. Simulaciones del control propuesto	196
6. ROBUSTEZ DEL CONTROLADOR DISEÑADO	257
 <i>CAPÍTULO 8. Aplicación de un sistema de almacenamiento de energía cinética accionado por MRC en un sistema de generación de energía eléctrica basado en energías renovables</i>	<i>265</i>

	DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PREDICTIVO PARA EL ACCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE RELUCTANCIA CONMUTADA DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO CINÉTICO PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LA EDIFICACIÓN Autor: JAVIER VILLEGAS NÚÑEZ Tutor: SERGIO VÁZQUEZ PÉREZ
---	---

1. SISTEMA COMPLETO.....	266
2. ENTORNO DE SIMULACIÓN	267
3. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN	269
4. SIMULACIONES	270
4.1. Escenario I. POTENCIA GENERADA NO NULA Y POTENCIA DEMANDADA NULA	271
4.2. Escenario II. Potencia Generada nula y Potencia Demandada no nula	272
4.3. Escenario III. Potencia Generada mayor que Potencia Demandada.....	273
4.4. Escenario IV. Potencia de Demanda mayor que Potencia de Generación.....	274
<i>CAPÍTULO 9. Conclusiones y posibles ampliaciones.....</i>	275
1. CONCLUSIONES.....	276
2. POSIBLES AMPLIACIONES.....	277
<i>CAPÍTULO 10. Referencias.....</i>	278
1. REFERENCIAS.....	279