

Tabla de Contenido

Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Estado del Arte.....	2
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Estructura de la tesis.....	5
Capítulo 2 Marco teórico.....	6
2.1 Conceptos básicos de cálculo y control fraccionario	6
2.1.1 Cálculo fraccionario	6
2.1.2 Operadores fraccionarios.....	7
2.1.3 Control fraccionario	8
2.1.3.1 PID de orden fraccionario (FOPID).....	9
2.2 Descripción de sistemas de generación eléctrica	12
2.2.1 Generador Síncrono de Imanes Permanentes (GSIP).....	13
2.2.2 Convertidor de potencia.....	17
2.2.3 Red	21
2.2.4 Lazo de seguimiento de fase (PLL)	22

Capítulo 3 Estrategia de control	25
3.1 Control Vectorial de Generador (CVG)	25
3.2 Control Vectorial de la Red (CVR)	29
3.3 Sintonización de controladores	30
3.3.1 CVG	30
3.3.2 CVR	41
Capítulo 4 Caso de estudio y análisis comparativo	50
4.1 Entrada a torque constante	51
4.2 Entrada con cambios de torque del $\pm 15\%$	56
4.3 Entrada de torque variable	62
4.4 Combinación de controladores.....	67
Capítulo 5 Conclusiones y trabajo futuro	72
5.1 Conclusiones.....	72
5.2 Trabajo Futuro.....	75
Bibliografía	76
Anexos	81
A.1 Datos del sistema	82
A.2 Transformaciones $abc-dq-\alpha\beta$	83
A.3 Resultados complementarios	85
A.3.1 Torque constante.....	85

A.3.2 Cambios de torque $\pm 15\%$	87
A.3.3 Torque variable.....	89
A.3.4 Combinación de controladores.....	91

Índice de Tablas

TABLA 2.1 CONMUTACIONES DE CONVERTORES	20
TABLA 3.1 PARÁMETROS DE CONTROL ISQ.....	32
TABLA 3.2 RESPUESTA DE CONTROLADOR ISQ.....	35
TABLA 3.3 PARÁMETROS DE CONTROLADORES DE Ω FOPI Y PI.....	37
TABLA 3.4 RESPUESTA DE CONTROLADORES Ω	40
TABLA 3.5 PARÁMETROS DE CONTROL IRD.....	43
TABLA 3.6 RESPUESTA DE CONTROLADORES IRD.....	45
TABLA 3.7 PARÁMETROS DE CONTROL DC-LINK.....	46
TABLA 3.8 RESPUESTA DE CONTROLADORES DC-LINK.....	49
TABLA 4.1 % THD EN LA RED A T CTE.....	54
TABLA 4.2 CRITERIOS DE RENDIMIENTO DE CONTROLADORES A T CTE.....	56
TABLA 4.3 % THD EN $\pm\%15$ DE T.....	60
TABLA 4.4 CRITERIOS DE RENDIMIENTO DE CTRLS A $\pm\%15$ T.....	61
TABLA 4.5 % THD DE LA RED A T SIN.....	64
TABLA 4.6 CRITERIOS DE DESEMPEÑO DE CTRLS A T SIN.....	66
TABLA 4.7 % THD FOPI-PI Y PI-FOPI.....	69
TABLA 4.8 CRITERIOS DE DESEMPEÑO DE CTRLS FOPI-PI Y PI-FOPI.....	71
TABLA 5.1 RESUMEN DE CONTROLADORES Y CASOS.....	74
TABLA A1.1 PARÁMETROS DEL SISTEMA.....	82

Índice de Figuras

FIGURA 2.1 GRAFICO DE LOS APORTES DE UN PID A) Y FOPID B)	10
FIGURA 2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE ESTUDIO.	12
FIGURA 2.3 VISTA AXIAL DE GSIP A) IMÁN MONTADO EN SUPERFICIE, B) IMANES INTERIORES..	14
FIGURA 2.4 SISTEMA DQ DEL SISTEMA ABC.....	15
FIGURA 2.5 CIRCUITO EQUIVALEN GSIP A) EJE D Y B) EJE Q.	17
FIGURA 2.6 CONVERTIDOR DE POTENCIA DE 2-L VSC	17
FIGURA 2.7 CONVERTIDOR BACK-TO-BACK.....	18
FIGURA 2.8 POSICIÓN DE LOS VECTORES.....	21
FIGURA 2.9 DIAGRAMA DE BLOQUES PLL.....	23
FIGURA 3.1 DIAGRAMA VECTORIAL CATC [61].....	27
FIGURA 3.2 DIAGRAMA DE CVG.....	28
FIGURA 3.3 DIAGRAMA DE CVR.....	29
FIGURA 3.4 CONTROLADORES CVG.....	30
FIGURA 3.5 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROL DE ISQ CVG.	31
FIGURA 3.6 GRÁFICOS CONTROLADOR PI ISQ.	33
FIGURA 3.7 GRÁFICOS CONTROLADOR FOPI ISQ.	34
FIGURA 3.8 RESPUESTA AL ESCALÓN EN LAZO CERRADO ISQ A) PI; B) FOPI.....	35
FIGURA 3.9 DIAGRAMA DEL CONTROL DE VELOCIDAD.	35
FIGURA 3.10 GRÁFICOS CONTROLADOR PI W.....	38
FIGURA 3.11 GRÁFICOS CONTROLADOR FOPI W.....	39

FIGURA 3.12 RESPUESTA AL ESCALÓN EN LAZO CERRADO W A) PI; B) FOPI	40
FIGURA 3.13 CONTROLADORES CVR	41
FIGURA 3.14 DIAGRAMA GENERAL DE CONTROL IRD EN CVR.	42
FIGURA 3.15 GRÁFICOS CONTROLADOR PI IRD.	43
FIGURA 3.16 GRÁFICOS CONTROLADOR FOPI IRD.	44
FIGURA 3.17 RESPUESTA AL ESCALÓN EN LAZO CERRADO IRD A) PI; B) FOPI.....	45
FIGURA 3.18 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA EL CONTROL DC-LINK.	45
FIGURA 3.19 GRÁFICOS CONTROLADOR PI DC-LINK.	47
FIGURA 3.20 GRÁFICOS CONTROLADOR FOPI DC-LINK.	48
FIGURA 4.1 TORQUE DE ENTRADA CONSTANTE.....	51
FIGURA 4.2 RESPUESTA DE T ELÉCTRICO A T MECÁNICO CTE. A) FOPI, B) PI.	52
FIGURA 4.3 RESPUESTA DEL CONTROLADOR DE W A T CTE.....	53
FIGURA 4.4 CORRIENTE EN GSIP. A) FOPI, B) PI A T CTE.	53
FIGURA 4.5 CONTROL DC-LINK A T CTE.....	54
FIGURA 4.6 CORRIENTE EN LA RED A) FOPI, B) PI A T CTE.....	55
FIGURA 4.7 ERROR DE CONTROL A) W, B) DC-LINK A T CTE.....	56
FIGURA 4.8 TORQUE MECÁNICO DE ENTRADA A) + 15%, B) - 15%.....	57
FIGURA 4.9 RESPUESTA DE T ELÉCTRICO Y MECÁNICO A) FOPI + 15%, A2) FOPI - 15%, B) PI + 15%, B2) PI - 15%.....	57
FIGURA 4.10 RESPUESTA DE W A) +15% DE T, B) - 15% DE T.....	58
FIGURA 4.11 CORRIENTES GSIP A) FOPI + 15%, A2) FOPI - 15%, B) PI + 15%, B2) PI - 15%.	58
FIGURA 4.12 RESPUESTA DC-LINK A) + 15%, B) - 15%.	59

FIGURA 4.13 CORRIENTES EN LA RED A) FOPI + 15%, A2) FOPI - 15%, B) PI + 15%, B2) PI - 15%.....	60
FIGURA 4.14 PORCIENTO DE ERROR DE CTRLS. A) FOPI + 15%, A2) FOPI - 15%, B) PI + 15%, B2) PI - 15%.....	61
FIGURA 4.15 TORQUE DE ENTRADA VARIACIONES SINUSOIDALES $\pm 15\%$	62
FIGURA 4.16 RESPUESTA DE T A T SIN A) FOPI, B) PI.....	63
FIGURA 4.17 RESPUESTA DEL CONTROLADOR DE Ω A T SIN.	63
FIGURA 4.18 CORRIENTE EN GSIP. A) FOPI, B) PI A T SIN.	64
FIGURA 4.19 CONTROL DC-LINK A T SIN.....	65
FIGURA 4.20 CORRIENTE EN LA RED A) FOPI, B) PI A T SIN.	65
FIGURA 4.21 ERROR DE CONTROL A) Ω , B) DC-LINK A T SIN.	66
FIGURA 4.22 DIAGRAMA DE BLOQUES FOPI-PI A) CVG; B) CVR.	67
FIGURA 4.23 DIAGRAMA DE BLOQUES PI-FOPI A) CVG; B) CVR.	67
FIGURA 4.24 COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS DE VELOCIDAD Ω	68
FIGURA 4.25 COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS DC-LINK.....	69
FIGURA 4.26 CORRIENTES CVR PRODUCIDAS A) FOPI, B) PI, c) PI-FOPI Y d) FOPI-PI.	70
FIGURA 4.27 COMPARACIÓN DE % DE ERROR A) Ω , B) DC-LINK.	71
FIGURA A2.1 SISTEMA TRIFÁSICO Y DQ.....	84
FIGURA A2.2 DIAGRAMA DE SISTEMA DQ-AB.....	84
FIGURA A3.1 CORRIENTES EN EJES DQ CVG A T CTE. A) I_q , B) I_d	86
FIGURA A3.210 CORRIENTES EN EJES DQ CVR A T CTE. A) I_d , B) I_q	86
FIGURA A3.3 CORRIENTES EN EJES DQ CVG A T +15% A) I_q , B) I_d	87
FIGURA A3.4 CORRIENTES EN EJES DQ CVR A T +15% A) I_d , B) I_q	88
FIGURA A3.5 CORRIENTES EN EJES DQ CVG A T -15% A) I_q , B) I_d	88

FIGURA A3.6 CORRIENTES EN EJES DQ CVR A T -15% A) I_d , B) I_q	89
FIGURA A3.7 CORRIENTES EN EJES DQ CVG A T SIN A) I_q , B) I_d	90
FIGURA A3.8 CORRIENTES EN EJES DQ CVR A T SIN A) I_d , B) I_q	90
FIGURA A3.9 CORRIENTES TRIFÁSICAS GSIP A) FOPI, B) PI, C) PI-FOPI Y D) FOPI-PI.	91
FIGURA A3.10 TORQUES ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS A) FOPI, B) PI, C) PI-FOPI Y D) FOPI-PI.	92
FIGURA A3.11 CORRIENTES EN EJES DQ CVG A) I_q , B) I_d	93
FIGURA A3.12 CORRIENTES EN EJES DQ CVR A) I_d , B) I_q	94