

Tabla de Contenido

Capítulo 1 - Introducción	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Alcances.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivos generales.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Estructura del trabajo	4
Capítulo 2 – Revisión bibliográfica y estado del arte	5
2.1. Compensación serie en sistemas eléctricos de potencia.....	5
2.2. Vibraciones en resonancia	6
2.3. Fenómenos oscilatorios en redes eléctricas.....	6
2.3.1. Oscilaciones interárea	6
2.3.2. Resonancia subsincrónica (SSR).....	7
2.4. Métodos de mitigación de SSR.....	12
2.4.1. Mitigación de SSR mediante UPFC	12
2.4.2. Mitigación mediante STATCOM.....	18
2.4.3. Mitigación mediante TCSC	23
2.4.4. Mitigación mediante SVC.....	25
2.4.5. Otros métodos de mitigación de SSR.....	31
2.5. Barrido de frecuencia	34
Capítulo 3 – Metodología.....	36
3.1. Supuestos	37
3.1.1. Topología y planes de expansión.....	37
3.1.2. Modelo de interconexión	37
3.1.3. Modelos dinámicos.....	38
3.2. Análisis modal y simulaciones.....	39
3.3. Análisis de SSR.....	41
3.4. Comprobación de resultados mediante análisis RMS.....	41
Capítulo 4 – Casos de estudio	43
4.1. Preparación de los casos de estudio	43
4.2. Representación del sistema SIC-SING vía modelación en DIGSILENT.	45
4.2.1. Base de datos del Sistema Interconectado Central.....	45
4.2.2. Base de datos del Sistema Interconectado del Norte Grande	45
4.2.3. Integración bases SIC-SING.....	46
Capítulo 5 – Desarrollo y análisis de resultados	47
5.1. Resultados del análisis modal	47

5.1.1. Modos iniciales SIC.....	47
5.1.2. Modos iniciales SING	48
5.1.3. Escenarios i, ii y iii.....	49
5.1.4. Escenario iv: demanda máxima del SING al SIC.....	49
5.1.5. Escenario v: sin Enlace-O'Higgins 220 kV.....	51
5.1.6. Escenario vi: caso radial.....	51
5.1.7. Escenarios vii y viii: flujo cero.....	53
5.2. Fenómenos de SSR encontrados	53
5.3. Análisis RMS.....	54
5.4. Discusión.....	57
Capítulo 6 – Conclusiones.....	58
Bibliografía.....	61
Anexos	63
A. Opciones de modelo de línea Interconexión SIC - SING.....	63
B. Configuración y topologías de escenarios de simulación	64

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: diagrama del circuito equivalente de una máquina de inducción genérica.	10
Ilustración 2: IEEE First Benchmark Model for Computer Simulation of Subsynchronous Resonance	12
Ilustración 3: sistema de control del convertor serie	13
Ilustración 4: sistema de control del convertor <i>shunt</i>	13
Ilustración 5: sistema de estudio para el UPFC	14
Ilustración 6: desviación de la velocidad del generador con y sin UPFC	14
Ilustración 7: desviación de la velocidad de la turbina de baja presión con y sin UPFC	15
Ilustración 8: desviación de velocidad de la turbina de alta presión con y sin UPFC	15
Ilustración 9: torque de las turbinas de alta a baja presión con y sin UPFC	15
Ilustración 10: torque electromecánico de DFIG con y sin UPFC	16
Ilustración 11: velocidad del DFIG con y sin UPFC	16
Ilustración 12: esquema genérico de UPFC en un sistema de plantas eólicas	17
Ilustración 13: modelo del STATCOM	18
Ilustración 14: esquemático STATCOM para estudio de SSR	19
Ilustración 15: respuestas dinámicas del sistema sin el STATCOM	20
Ilustración 16: respuestas dinámicas del sistema con el STATCOM	21
Ilustración 17: velocidad del generador	21
Ilustración 18: ángulo de la máquina	22
Ilustración 19: tensión de la barra del STATCOM	22
Ilustración 20: torque electromecánico	22
Ilustración 21: ángulo de disparo del STATCOM	23
Ilustración 22: torque eléctrico - potencia activa	24
Ilustración 23: desviación de la velocidad del eje	25
Ilustración 24: diagrama del SVC	26
Ilustración 25: diagrama de bloques del controlador de SSR del SVC	27
Ilustración 26: diagrama unilineal del sistema de prueba.	28
Ilustración 27: resultados en frecuencia del uso de SVC en el sistema de prueba versus el amortiguamiento del coeficiente de torque.	29
Ilustración 28: torque tras falla sin SVC	30
Ilustración 29: torque con SVC tras falla	31
Ilustración 30: Esquema del SEDC	33
Ilustración 31: gráfico de resistencia y reactancia efectiva versus frecuencia eléctrica	35
Ilustración 32: esquema de metodología a seguir	36
Ilustración 33: modelo de línea interconexión de E-CL	38
Ilustración 34: características de los modos según su naturaleza [18]	39
Ilustración 35: caracterización de las amplitudes de oscilación A1 y A2	40
Ilustración 36: modelo línea interconexión en DIgSILENT	46
Ilustración 37: gráfico de valores propios del SIC	47
Ilustración 38: gráfico de valores propios del SING	48
Ilustración 39: flujo de potencia por la interconexión, escenario iv.	49
Ilustración 40: gráfico de valores propios de los modos del escenario iv.	50
Ilustración 41: gráfico de valores propios escenario v	51
Ilustración 42: gráfico de valores propios del escenario vi.	52
Ilustración 43: tabla de modos del escenario vi.	52
Ilustración 44: Variables graficadas en Nueva Ventanas tras análisis RMS	55

Ilustración 45: Variables graficadas tras el análisis RMS en 50% línea Los Changos - Cumbres 500 kV, circuito 1. En rojo la tensión en p.u. (valores a la izquierda), y en azul la desviación de frecuencia en Hz (valores a la derecha)	56
Ilustración 46: opción de CNE de interconexión SIC-SING	63
Ilustración 47: opción de Transgrid de Interconexión SIC-SING	63
Ilustración 48: configuración completa	64
Ilustración 49: configuración escenario v	65
Ilustración 50: Configuración escenario vi	66

Índice de Tablas

Tabla 2: modos inestables SIC	48
Tabla 6: tabla de modos del escenario iv.	50
Tabla 7: tabla de modos del sistema para escenario v.	51
Tabla 8: factores de participación de modos de interés.	54