

ÍNDICE

RESUMEN Y OBJETIVOS DE LA TESIS	1
LISTA DE SÍMBOLOS	5
1. INTRODUCCIÓN A LA REDUCCIÓN DEL CONTENIDO ARMÓNICO DE LA CORRIENTE DE ENTRADA	13
1.1 Introducción	
1.2 Efectos de los armónicos en los componentes del sistema eléctrico	14
1.2.1 Calentamientos	15
1.2.2 Defectos de aislamiento	18
1.2.3 Fallos de operación	18
1.3 La norma IEC-1000-3-2 y sus antecedentes	22
1.4 Soluciones para la reducción del contenido armónico	28
1.4.1 Soluciones pasivas de corriente senoidal	30
1.4.2 Soluciones pasivas de contenido armónico limitado	31
1.4.3 Soluciones activas de corriente senoidal	33
1.4.3.1 Principios básicos del emulador de resistencia	33
1.4.3.2 El control del emulador de resistencia	36
1.4.3.3 Control con multiplicador	37
1.4.3.4 Control como seguidor de tensión	38
1.4.3.5 Topologías de potencia usadas para la corrección del factor de potencia	40
1.4.3.6 Topologías básicas de ER con un único transistor	41
1.4.3.7 Topologías con varios transistores	42
1.4.3.8 Topologías de conmutación suave	43
1.4.3.9 El problema dinámico de los emuladores de resistencia	45
1.4.3.10 Convertidores con dos etapas integradas	46
1.4.3.11 Convertidores con procesamiento energético menor que doble	49
1.4.3.12 Circuitos basados en bomba de carga controlada	50
1.4.3.13 Circuitos con procesamiento paralelo de potencia	52
1.4.3.14 Circuitos basados en posreguladores de alto rendimiento	55
1.4.4 Soluciones activas de contenido armónico limitado	57
1.4.4.1 Soluciones activas de contenido armónico limitado conmutadas a frecuencia de red	59
1.4.4.2 Soluciones activas de contenido armónico limitado de alta frecuencia de conmutación	61

2. EL REDUCTOR ACTIVO DE ARMÓNICOS	65
2.1 Fundamentos básicos del reductor activo de armónicos	65
2.2 Estudio de las formas de onda típicas de un reductor activo de armónicos	74
2.2.1 Límites del ángulo de conducción para las clases A y D	75
2.2.2 Límites del ángulo de conducción para la clase B	83
2.2.3 Límites del ángulo de conducción para la clase C	86
2.2.4 Valores límite del ángulo de conducción para otras tensiones europeas	88
2.2.4.1 Límites de las clases A y D para otras tensiones europeas	89
2.2.4.1.1 Límites de las Clases A y D para una tensión nominal de entrada de 230 V	89
2.2.4.1.2 Límites de la Clase B para una tensión nominal de entrada de 230 V	91
2.2.4.1.3 Límites de las Clases A y D para una tensión nominal de entrada de 240 V	92
2.2.4.1.4 Límites de la Clase B para una tensión nominal de entrada de 240 V	95
2.2.4.2 Límites del ángulo de conducción para otros rangos de tensiones	96
2.3 El convertidor directo retrasado	98
2.3.1 Estudio del convertidor directo retrasado como convertidor ideal	98
2.3.2 Estudio del convertidor directo retrasado como convertidor real	106
2.3.3 Estudio del convertidor directo retrasado en modo de conducción discontinuo	110
2.3.4 Estudio del convertidor directo retrasado en el límite del modo de conducción discontinuo	116
2.4 El convertidor directo retrasado real como reductor activo de armónicos	117
2.5 Estudio comparativo de las formas de onda de la corriente de entrada para el modelo real y el modelo ideal	125
2.6 Convertidores retrasados con rectificador de doble onda	131
2.6.1 Convertidor retrasado con rectificador de onda completa basado en un transformador con toma media	132
2.6.1.1 Ecuaciones reales del convertidor en modo de conducción continuo	136
2.6.1.2 Ecuaciones del convertidor en modo de conducción discontinuo	140
2.6.1.3 Uso de la salida retrasada con rectificador de onda completa basada en un transformador con toma media para la reducción del contenido armónico de la corriente de entrada	142
2.6.1.4 Uso de la salida retrasada con rectificador de doble onda basada en un transformador con toma media en convertidores con formas de onda asimétricas en el transformador	145
2.6.1.5 Acoplamiento de las dos bobinas retrasadoras en un único núcleo	148
2.6.2 Salida retrasada basada en el uso de un puente completo de diodos	151
2.6.3 Ecuaciones reales de la salida retrasada con rectificador de doble onda basado en un puente completo de diodos	155
2.6.4 Ecuaciones reales del convertidor en modo de conducción discontinuo	157
2.6.5 Uso de la salida retrasada con rectificador de onda completa basada en un puente completo de diodos para la reducción del contenido armónico de la corriente de entrada	159
2.6.6 Uso de la salida retrasada con rectificador de doble onda basada en un puente completo de	160

diodos en convertidores con formas de onda asimétricas en el transformador	
2.7 El reductor activo de armónicos en convertidores sin aislamiento galvánico	162
2.8 Conclusiones	164
3. ESTUDIO ESTÁTICO DE CONVERTIDORES CA/CC CON REDUCTOR ACTIVO DE ARMÓNICOS BASADO EN EL USO DE SALIDAS RETRASADAS	171
3.1 Introducción	171
3.2 Proceso de diseño de un convertidor con Reductor Activo de Armónicos	179
3.2.1 Demostración analítica de la dependencia de la tensión en el condensador de almacenamiento respecto de la potencia	189
3.3 Estudio estático del convertidor de Retroceso con reductor activo de armónicos	193
3.3.1 Convertidor de Retroceso de baja potencia con RA ² basado en un rectificador de media onda	193
3.3.1.1 Resultados experimentales	207
3.3.2 Convertidor de Retroceso con Reductor Activo de Armónicos basado en un puente completo de diodos	211
3.3.2.1 Resultados experimentales	223
3.3.3 Controlabilidad de un convertidor de Retroceso con Reductor Activo de Armónicos	229
3.3.4 Estudio estático del convertidor Reductor-Elevador con Reductor Activo de Armónicos	235
3.4 Estudio estático del convertidor en Medio Puente con Reductor Activo de Armónicos	236
3.4.1 Resultados experimentales	248
3.4.2 Controlabilidad de un convertidor en Medio Puente con Reductor Activo de Armónicos	252
3.5 Estudio estático del convertidor en Medio Puente con Control Complementario con Reductor Activo de Armónicos	253
3.5.1 Resultados experimentales	264
3.5.2 Controlabilidad de un convertidor en Medio Puente con Control Complementario con Reductor Activo de Armónicos	267
3.6 Estudio estático del convertidor Reductor con Reductor Activo de Armónicos	270
3.6.1 Controlabilidad de un convertidor Reductor con Reductor Activo de Armónicos	273
3.6.2 Proceso de diseño de un convertidor Reductor con Reductor Activo de Armónicos	277
3.6.3 Resultados experimentales	285
3.7 Estudio estático del convertidor Elevador con Reductor Activo de Armónicos	289
3.7.1 Controlabilidad de un convertidor Elevador con Reductor Activo de Armónicos	296
3.8 Conclusiones	298
4. MODELADO DINÁMICO DE CONVERTIDORES CON REDUCTOR ACTIVO DE ARMÓNICOS	303
4.1 Introducción	303
4.2 Modelado dinámico del convertidor en Medio Puente con Reductor Activo de Armónicos	305

4.2.1 Modelado dinámico del convertidor en Medio Puente con Reductor Activo de Armónicos alimentado desde una tensión de entrada continua	305
4.2.2 Modelado dinámico del convertidor en Medio Puente con Reductor Activo de Armónicos alimentado desde una tensión de entrada alterna	331
4.2.3 Resultados experimentales	348
4.2.3.1 Ensayos con tensión de entrada continua	350
4.2.3.2 Ensayos con tensión de entrada alterna	352
4.3.3.3 Resultados obtenidos mediante simulación	356
4.3 Modelado dinámico del convertidor de Retroceso con Reductor Activo de Armónicos	360
4.3.1 Modelado dinámico del convertidor de Retroceso con Reductor Activo de Armónicos alimentado desde una tensión de entrada continua	360
4.3.2 Modelado dinámico del convertidor de Retroceso con Reductor Activo de Armónicos alimentado desde una tensión de entrada alterna	391
4.3.3 Resultados experimentales	402
4.3.3.1 Ensayos con tensión de entrada continua	403
4.3.3.2 Ensayos con tensión de entrada alterna	407
4.3.3.3 Resultados obtenidos mediante simulación	410
4.4 Estabilidad de los convertidores con Reductor Activo de Armónicos	412
4.5 Conclusiones	414
 5. CONCLUSIONES	 421
 5.1 Aportaciones del presente trabajo	 421
5.2 Sugerencias para futuros trabajos	424
 Apéndice A	 427
Apéndice B	443
Apéndice C	455
Bibliografía	463