

ÍNDICE

OBJETIVOS Y RESUMEN DE LA TESIS	1
LISTA DE SÍMBOLOS	5
1 LA REDUCCIÓN DEL CONTENIDO ARMÓNICO EN LA CORRIENTE DE ENTRADA	17
1.1 INTRODUCCIÓN A LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE LA CORRIENTE DE ENTRADA	17
1.2 LA NORMA IEC-1000-3-2	19
1.2.1 Antecedentes	20
1.2.2 Primera edición de la norma (IEC-1000-3-2) [1.10]	21
1.2.3 Modificaciones de la norma (IEC-1000-3-2) [1.11]	24
1.2.4 El factor de potencia y la distorsión armónica total en el contexto de la norma.....	25
1.3 SOLUCIONES PARA LA REDUCCIÓN DEL CONTENIDO ARMÓNICO	26
1.3.1 Circuitos pasivos para reducir el contenido armónico de la corriente de entrada .	27
1.3.2 Circuitos activos integrados en una sola etapa para reducir el contenido armónico de la corriente de entrada	30
1.3.3 Circuitos activos de dos etapas con corriente de entrada senoidal	33
BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 1.....	38
2 LÍMITES DINÁMICOS DEL CORRECTOR DEL FACTOR DE POTENCIA	43
2.1 EL EMULADOR DE RESISTENCIA	43
2.1.1 Principios básicos del emulador de resistencia	44
2.1.2 El control del emulador de resistencia	47
2.1.2.1 Control con multiplicador.....	47
2.1.2.2 Control como seguidor de tensión	49
2.1.3 Topologías de potencia usadas como emulador de resistencia.....	50
2.1.3.1 Topologías básicas de ER con único transistor	51
2.1.3.2 Topologías con varios interruptores	52
2.1.3.3 Topologías de conmutación suave.....	54
2.1.4 El problema dinámico del emulador de resistencia	56
2.1.4.1 Soluciones basadas en modificaciones de la etapa de potencia.....	56
2.1.1.2 Soluciones basadas en modificaciones en los lazos de control	60
2.2 ANÁLISIS DEL CORRECTOR DEL FACTOR DE POTENCIA (CFP) SIN DISTORSIÓN EN LA CORRIENTE DE ENTRADA	60

2.2.1 Análisis estático del CFP sin distorsión en la corriente de entrada.....	61
2.2.2 Modelado dinámico del CFP sin distorsión en la corriente de entrada	66
2.2.2.1 Análisis de pequeña señal de la etapa de potencia del CFP sin distorsión en la corriente de entrada.....	66
2.2.2.2 Análisis de pequeña señal del lazo de tensión del CFP sin distorsión en la corriente de entrada.....	71
2.2.2.3 Diseño del CFP en lazo cerrado sin distorsión en la corriente de entrada. Límites de aplicación del modelo	75
2.2.2.4 Análisis de la respuesta dinámica de la tensión de salida del CFP sin distorsión en la corriente de entrada ante un salto de carga.....	77
2.3 LÍMITES DE APLICACIÓN DEL MODELO DEL CFP SIN DISTORSIÓN EN LA CORRIENTE DE ENTRADA	83
2.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL CFP SIN CONSIDERAR DISTORSIÓN EN LA CORRIENTE DE ENTRADA	85
2.4.1 Modelo promediado propuesto para la simulación del comportamiento del CFP..	85
2.4.2 Resultados obtenidos mediante simulación.....	86
2.4.2.1 Simulaciones de la corriente de entrada	86
2.4.2.2 Simulación de la tensión de salida ante un salto de carga	88
2.5 ANÁLISIS DEL CFP CON DISTORSIÓN EN LA CORRIENTE DE ENTRADA	89
2.5.1 Análisis estático del CFP con distorsión en la corriente de entrada.....	90
2.5.2 Evaluación de la distorsión en la corriente de entrada en el CFP. La norma 61000-3-2.....	98
2.5.3 Modelado dinámico del CFP con distorsión en la corriente de entrada	102
2.5.3.1 Análisis de pequeña señal de la etapa de potencia del CFP con distorsión en la corriente de entrada.....	102
2.5.3.1.1 Análisis de pequeña señal de la dinámica principal del CFP con distorsión en la corriente de entrada.....	102
2.5.3.1.2 Análisis de pequeña señal de los módulos de los rizados del CFP con distorsión en la corriente de entrada.....	107
2.5.3.1.3 Análisis de pequeña señal de los argumentos de los rizados del CFP con distorsión en la corriente de entrada	111
2.5.3.1.4 Análisis de pequeña señal completo de la etapa de potencia del CFP con distorsión en la corriente de entrada	113
2.5.3.2 Diseño en lazo cerrado del CFP con distorsión en la corriente de entrada.....	117
2.5.3.3 Análisis de la respuesta dinámica de la tensión de salida del CFP con distorsión en la corriente de entrada ante un salto de carga.....	123
2.6 LÍMITES EN LA DINÁMICA DEL CFP	127
2.6.1 Límites dinámicos del CFP introducidos por la distorsión en la corriente de entrada. La norma EN 61000-3-2	128
2.6.2 Límites dinámicos naturales del CFP	131

2.7 RESULTADOS EXPERIMENTALES	133
2.7.1 Resultados obtenidos mediante simulación.....	133
2.7.1.1 Simulación de la corriente de entrada.....	133
2.7.1.2 Simulación de la tensión de salida ante un salto de carga	134
2.7.2 Resultados obtenidos mediante prototipado.....	136
2.7.2.1 Características del prototipo	136
2.7.2.2 Corriente de entrada.....	137
2.7.2.3 Salto de carga.....	138
2.8 CONCLUSIONES.....	139
BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 2.....	142
3 CORRECTORES DEL FACTOR DE POTENCIA CON DINÁMICA RÁPIDA Y CORRIENTE DE ENTRADA SENOIDAL	147
3.1 METODOLOGÍAS DE CONTROL PARA NO DISTORSIONAR LA CORRIENTE DE ENTRADA DE CFP CON DINÁMICA RÁPIDA	147
3.1.1 Técnicas de muestreo y retención (<i>Sample and hold</i>)	148
3.1.2 Empleo de filtros selectivos de rechazo de banda (<i>Notch filter</i>)	149
3.1.3 Técnicas adaptativas de compensación de rizado (<i>Ripple compensation</i>)	150
3.1.4 Control por ventana de regulación (<i>Regulation band</i>)	152
3.1.5 Control en modo deslizante (<i>Sliding mode control</i>)	153
3.2 NUEVA ESTRATEGIA DE CONTROL BASADA EN LA GENERACIÓN DE UNA REFERENCIA SENOIDAL MODIFICADA EN EL CFP CON DINÁMICA RÁPIDA.....	154
3.2.1 Análisis paramétrico de la corriente de entrada en los CFP con dinámica rápida.....	154
3.2.2 Principio de funcionamiento de la nueva estrategia de control basada en la generación de una referencia senoidal modificada para CFP con dinámica rápida.....	157
3.2.3 Análisis de la metodología de control basada en la generación de una referencia senoidal modificada para CFP con dinámica rápida	158
3.2.3.2 Análisis estático del CFP usando una referencia senoidal modificada.....	159
3.2.3.3 Análisis de pequeña señal del CFP usando una referencia senoidal modificada ..	162
3.2.3.4 Análisis de pequeña señal del CFP usando una referencia senoidal modificada en lazo cerrado. Cálculo de la referencia senoidal modificada	166
3.2.4 Límites dinámicos del CFP con dinámica rápida usando una referencia senoidal modificada.....	168
3.3 GENERACIÓN DE LA REFERENCIA SENOIDAL MODIFICADA CON UN MICROCONTROLADOR DE BAJO COSTE.....	169
3.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES	172
3.4.1 Resultados obtenidos mediante simulación.....	172
3.4.1.1 Simulación de la corriente de entrada.....	172

3.4.1.2 Simulación de un salto de carga	174
3.4.1.3 Simulación de la estrategia de control basada en la generación de una referencia senoidal modificada	176
3.4.2 Resultados obtenidos mediante prototipado	178
3.4.2.1 Características del prototipo	178
3.4.2.2 Corriente de entrada.....	179
3.4.2.3 Salto de carga.....	181
3.5 CONCLUSIONES	183
BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 3.....	184
4 CONTROL DE CORRECTORES DEL FACTOR DE POTENCIA MEDIANTE RAMPAS DE COMPENSACIÓN CONTROLADAS POR TENSIÓN	187
4.1 METODOLOGÍAS DE CONTROL PARA CORRECTORES DEL FACTOR DE POTENCIA (CFP) ...	188
4.1.2 Control como seguidor de tensión.....	188
4.1.3 Control basado en un multiplicador analógico.....	189
4.1.4 Control de un ciclo (CUC)	190
4.2 CFP ELEVADOR CONTROLADO MEDIANTE RAMPAS DE COMPENSACIÓN CONTROLADAS POR TENSIÓN (CRCCT) CON PENDIENTE VARIABLE	191
4.2.2 Comparación entre el CUC y el CRCCT con pendiente variable	192
4.2.3 Análisis estático de la corriente de entrada del CRCCT con pendiente variable aplicado al CFP elevador	194
4.2.3.1 Análisis estático operando en MCC	195
4.2.3.2 Análisis estático operando en MCD	198
4.2.3.3 Análisis estático de la frontera entre el MCC y MCD.....	199
4.2.3.4 Análisis de la corriente de entrada del CRCCT y pendiente variable. Factor de potencia (FP) y distorsión armónica (DAT)	201
4.3 CFP BASADO EN UN CONVERTIDOR DE RETROCESO (FLYBACK) CON CRCCT CON PENDIENTE VARIABLE	204
4.3.2 Análisis estático de la corriente de entrada del CRCCT con rampa lineal y pendiente variable aplicado al CFP basado en un convertidor de retroceso.....	204
4.3.2.1 Análisis estático operando en MCC	205
4.3.2.2 Análisis estático operando en MCD	205
4.3.2.3 Análisis estático de la frontera entre el MCC y MCD.....	206
4.3.2.4 Análisis de la corriente de entrada del CRCCT con rampa lineal y pendiente variable. FP y DAT.....	206
4.3.3 Análisis estático de la corriente de entrada del CRCCT con rampa exponencial y pendiente variable aplicado al CFP basado en un convertidor de retroceso.....	207
4.3.3.2 Análisis estático operando en MCC	209

4.3.3.3	Análisis estático operando en MCD	210
4.3.3.4	Análisis estático de la frontera entre el MCC y MCD.....	210
4.3.3.5	Análisis de la corriente de entrada del CRCCT con rampa exponencial y pendiente variable. FP y DAT.....	211
4.4	EL CFP ELEVADOR CONTROLADO MEDIANTE RAMPAS DE COMPENSACIÓN CON PENDIENTE FIJA (CRCPF).....	216
4.4.2	Análisis estático de la corriente de entrada del CRCPF con rampa lineal aplicado al CFP elevador.....	218
4.4.2.1	Análisis estático operando en MCC	218
4.4.2.2	Análisis estático operando en MCD	220
4.4.2.3	Análisis estático de la frontera entre el MCC y MCD.....	221
4.4.2.4	Análisis de la corriente de entrada del CRCPF. FP y DAT.....	223
4.5	EL CFP BASADO EN UN CONVERTIDOR DE RETROCESO CON CRCPF	226
4.5.2	Análisis estático de la corriente de entrada DEL CRCPF con rampa exponencial aplicado AL CFP basado en un convertidor de retroceso.	228
4.5.2.1	Análisis estático operando en MCC	228
4.5.2.2	Análisis estático operando en MCD	229
4.5.2.3	Análisis estático de la frontera entre el MCC y MCD.....	229
4.5.2.4	Análisis de la corriente de entrada del CRCPF con rampa exponencial. FP y DAT	231
4.6	RESULTADOS EXPERIMENTALES	233
4.6.1	CRCCT con rampa lineal y pendiente variable para el CFP elevador	233
4.6.1.1	Características del prototipo	233
4.6.1.2	Corriente de entrada.....	236
4.6.1.3	Formas de onda del control CRCCT	238
4.6.2	CRCCT con rampa exponencial y pendiente variable para el CFP basado en un convertidor de retroceso	239
4.6.2.1	Características del Prototipo	239
4.6.2.2	Corriente de entrada.....	240
4.6.3	CRCPF con rampa lineal en el CFP elevador	241
4.6.3.1	Características del prototipo	241
4.6.3.2	Corriente de entrada.....	242
4.6.4	CRCPF rampa exponencial en el CFP basado en un convertidor de retroceso	244
4.6.4.1	Características del prototipo	244
4.6.4.2	Corriente de entrada.....	244
4.7	CONCLUSIONES	246
BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 4.....		247

5 CONCLUSIONES.....	249
5.1 APORTACIONES DEL PRESENTE TRABAJO	249
5.2 SUGERENCIAS PARA FUTUROS TRABAJOS	253
ANEXOS	255
A.I SIMPLIFICACIONES DEL ANÁLISIS DEL CFP CON DISTORSIÓN EN LA CORRIENTE DE ENTRADA	257
AI.1 ANÁLISIS DE PEQUEÑA SEÑAL DE LOS ARGUMENTOS DE LOS RIZADOS DEL CFP CON DISTORSIÓN EN LA CORRIENTE DE ENTRADA	257
AI.2 SIMPLIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE PEQUEÑA SEÑAL DE LA ETAPA DE POTENCIA DEL CFP CON DISTORSIÓN EN LA CORRIENTE DE ENTRADA	260
AI.3 SIMPLIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE PEQUEÑA SEÑAL DE LA IMPEDANCIA DE SALIDA DEL CFP CON DISTORSIÓN EN LA CORRIENTE DE ENTRADA	273
A.II PROGRAMACIÓN EN MATHCAD. HOJAS DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE MODELOS.....	275
AII.1 PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DEL CFP EN LAZO CERRADO	275
AII.2 PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CFP ELEVADOR CON CRCCT	283
AII.3 PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CFP DE RETROCESO CON CRCCT	289
AII.4 PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CFP ELEVADOR CON CRCPF	301
AII.5 PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CFP DE RETROCESO CON CRCPF	307