

Índice

Capítulos

1. Introducción.

1.1.	Introducción	1-1
1.2.	La Norma IEC-1000-3-2	1-2
1.2.1.	Primera edición de la Norma (IEC-1000-3-2)	1-3
1.2.2.	Modificaciones a la Norma (IEC-61000-3-2)	1-3
1.3.	Circuitos para corregir el factor de potencia	1-4
1.3.1.	Principios básicos del emulador de resistencia	1-6
1.3.1.1.	Sistemas de control en los emuladores de resistencia	1-8
1.3.1.2.	Topologías de potencia	1-9
1.3.1.3.	El problema dinámico de los Emuladores de Resistencia	1-12
1.3.1.4.	Convertidores con procesamiento energético menor que el doble	1-14
1.4.	Circuitos para reducir la generación de armónicos de corriente de baja frecuencia	1-16
1.4.1.	Soluciones pasivas de contenido armónico limitado	1-16
1.4.2.	Soluciones activas de contenido armónico limitado	1-16
1.4.2.1.	Modificación de etapas integradas	1-17
1.4.2.2.	Circuitos basados en “bombas de carga”	1-18
1.4.2.3.	Circuitos basados en salidas de alta impedancia	1-18
1.5.	Diseño de RAA utilizando el modelo “Resistencia sin pérdidas”	1-20
1.6.	Bibliografía	1-23

2. Diseño de Reductores Activos de Armónicos utilizando Redes de Alta Impedancia

2.1.	Introducción	2-1
2.2.	RAI basadas en el convertidor Directo	2-2
2.2.1.	Características tensión-corriente	2-3
2.2.2.	Tipos de CTC	2-4
2.2.3.	Límites de funcionamiento para las RAI	2-5
2.3.	Estudio de los RAA utilizando las características tensión-corriente	2-6
2.3.1.	Obtención de la corriente de entrada	2-6
2.3.2.	Tensión en el condensador de almacenamiento. Control de potencia	2-7
2.3.2.1.	Mínima tensión admisible en el condensador de almacenamiento	2-8

2.3.2.2.	Tensión máxima en el condensador de almacenamiento	2-8
2.4.	Selección de las RAI más adecuadas para trabajar en RAA	2-11
2.4.1.	Factor de Utilización de la RAI	2-11
2.4.2.	Influencia del valor de “K” sobre los armónicos de baja frecuencia	2-12
2.5.	Validez del modelo “Fuente de tensión y resistencia sin pérdidas”	2-13
2.5.1.	RAI de onda completa Tipo (1) con $K=1$	2-14
2.5.2.	RAI de onda completa Tipo (2) con $K=0$	2-15
2.6.	Corriente Base y Potencia Base	2-15
2.7.	Justificación de las simplificaciones realizadas en los diseños	2-16
2.7.1.	Influencia del condensador de almacenamiento en el contenido armónico	2-17
2.7.2.	Interacción entre la RAI y el convertidor CC/CC	2-18
2.7.2.1.	Convertidor directo y RAI de onda completa	2-18
2.7.2.2.	Convertidor con varios interruptores y RAI de onda completa	2-19
2.7.2.3.	Convertidor de retroceso y RAI de media onda	2-19
2.7.2.4.	Convertidor de retroceso y RAI de onda completa	2-19
2.8.	Diseño en Clase A	2-20
2.8.1.	Criterios de diseño	2-20
2.8.1.1.	Pasos a seguir para la generación de los ábacos de diseño	2-21
2.8.1.2.	Método de diseño utilizando los ábacos	2-22
2.8.2.	Ábacos para la RAI con rectificador de media onda ($K=0$, $K=1$, $L_R=0$)	2-24
2.8.2.1.	Convertidor principal directo	2-24
2.8.2.2.	Convertidor principal de retroceso	2-25
2.8.2.3.	Ejemplo de diseño (1)	2-27
2.8.2.4.	Ejemplo de diseño (2)	2-28
2.8.3.	Ábacos para la RAI con rectificador de onda completa tipo (1) ($K=0$, $K=1$)	2-31
2.8.3.1.	Rectificador de onda completa con alimentación simétrica	2-31
2.8.3.2.	Ejemplo de diseño (3)	2-33
2.8.3.3.	Rectificador de onda completa con alimentación asimétrica	2-36
2.8.3.4.	Ejemplo de diseño (4)	2-37
2.8.4.	Ábacos para la RAI con rectificador de onda completa tipo (2) ($K=0$, $K=1$)	2-39
2.8.4.1.	Alimentación simétrica	2-39
2.8.4.2.	Ejemplo de diseño (5)	2-41
2.8.4.3.	Alimentación asimétrica	2-43
2.8.4.4.	Ejemplo de diseño (6)	2-44
2.9.	Diseño en Clase D	2-46

2.9.1.	Rectificador de media onda ($K=0$, $K=1$, $L_R=0$)	2-46
2.9.1.1.	Convertidor principal directo	2-46
2.9.1.2.	Convertidor principal de retroceso	2-47
2.9.1.3.	Ejemplo de diseño (7)	2-47
2.9.2.	Rectificador de onda completa Tipo (1) ($K=0$, $K=1$)	2-48
2.9.2.1.	Alimentación simétrica	2-48
2.9.2.2.	Ejemplo de diseño (8)	2-48
2.9.2.3.	Alimentación asimétrica	2-50
2.9.2.4.	Ejemplo de diseño (9)	2-50
2.9.3.	Rectificador de onda completa tipo (2) ($K=0$, $K=1$)	2-51
2.9.3.1.	Alimentación simétrica	2-51
2.9.3.2.	Alimentación asimétrica	2-52
2.10.	Conclusiones	2-52
2.11.	Bibliografía	2-53
3.	Selección de la mejor RAI y optimización de los diseños.	
3.1.	Introducción	3-1
3.2.	Parámetros de calidad	3-2
3.2.1.	Evaluación cualitativa de los parámetros de calidad	3-4
3.2.1.1.	Tensión máxima en el condensador de almacenamiento	3-4
3.2.1.2.	Corriente extra como consecuencia de la utilización de la RAI	3-4
3.2.1.3.	Tamaño y número de los magnéticos utilizados en la RAI	3-4
3.2.2.	Valoración cuantitativa de los parámetros de calidad	3-6
3.3.	RAI para tensión universal. Doblador	3-9
3.3.1.	Introducción de las RAI en las topologías con doblador. Integración de diodos de alta frecuencia y rectificadores	3-9
3.3.2.	Diseño de RAA con doblador	3-13
3.3.2.1.	Funcionamiento como doblador	3-13
3.3.2.2.	Funcionamiento como rectificador	3-14
3.3.2.3.	Método de cálculo	3-15
3.3.2.4.	Ejemplo de diseño	3-17
3.4.	Conclusiones sobre la optimización de los RAA que utilizan RAI	3-18
3.5.	Bibliografía	3-19
4.	Resultados experimentales.	
4.1.	Introducción	4-1
4.2.	Convertidor de retroceso	4-2
4.2.1.	RAI de onda completa y cuatro diodos. Clase D	4-3
4.2.1.1.	Resultados para $K=1$	4-3

4.2.1.2.	Resultados para $K=0,5$	4-5
4.2.1.3.	Resultados para $K=0$	4-7
4.2.2.	RAI de media onda. Clase A	4-8
4.2.2.1.	Resultados para condensador de almacenamiento “pequeño”	4-9
4.2.2.2.	Resultados para condensador de almacenamiento “grande”	4-10
4.3.	Convertidor en medio puente con doblador de tensión	4-12
4.3.1.	Resultados en el rango de tensión europeo (230V)	4-12
4.3.2.	Resultados en el rango de tensión americano (110V)	4-14
4.4.	Control de corriente promediada para reducir el rizado a la salida	4-16
4.4.1.	Resultados con control “lento”	4-17
4.4.2.	Resultados con control “rápido”	4-19
5. Conclusiones, aportaciones y futuros trabajos.		
5.1.	Conclusiones	5-1
5.2.	Aportaciones	5-3
5.3.	Futuros trabajos	5-4

Anexos

1. Características tensión-corriente.

1.1.	Introducción	1-1
1.2.	Rectificador de media onda	1-3
1.2.1.	Ecuaciones de Funcionamiento	1-3
1.2.1.1.	Modo 1	1-4
1.2.1.2.	Modo 2	1-5
1.2.1.3.	Modo 3	1-6
1.2.2.	Características Tensión-Corriente	1-8
1.2.2.1.	Características tensión-corriente con dos bobinas	1-9
1.2.2.2.	Características tensión-corriente si sólo existe bobina de filtro	1-10
1.2.2.3.	CTC si sólo existe bobina retrasadora	1-10
1.3.	Rectificador de onda completa tipo (1) y señal simétrica	1-11
1.3.1.	Ecuaciones de funcionamiento	1-11
1.3.1.1.	Modo 1	1-13
1.3.1.2.	Modo 2	1-14
1.3.1.3.	Modo 3	1-15
1.3.2.	Características Tensión-Corriente	1-16
1.4.	Rectificador de onda completa tipo (1) y señal asimétrica	1-17

1.4.1.	Ecuaciones de funcionamiento	1-19
1.4.1.1.	Modo 1	1-20
1.4.1.2.	Modo 2	1-21
1.4.1.3.	Modo 3	1-22
1.4.1.4.	Modo 4	1-23
1.4.1.5.	Modo 5	1-24
1.4.1.6.	Modo 6	1-25
1.4.2.	Características Tensión-Corriente	1-26
1.5.	Rectificador e onda completa tipo(2) y señal simétrica	1-27
1.5.1.	Ecuaciones de funcionamiento	1-27
1.5.1.1.	Modo 1	1-28
1.5.1.2.	Modo 2	1-28
1.5.2.	Características Tensión-Corriente	1-30
1.6.	Rectificador de onda completa tipo 2 con alimentación asimétrica	1-31
1.6.1.	Ecuaciones de funcionamiento	1-32
1.6.1.1.	Modo 1	1-32
1.6.1.2.	Modo 2	1-34
1.6.1.3.	Modo 3	1-36
1.6.1.4.	Modo 4	1-36
1.6.2.	Características Tensión-Corriente	1-38
2.	Interacción entra las RAI y los convertidores CC/CC.	
2.1.	Introducción	2-1
2.1.1.	Formas de onda que determinan el funcionamiento de la RAI	2-2
2.1.2.	Obtención del modelo promediado	2-2
2.2.	RAI con rectificador de media onda y convertidor directo	2-3
2.2.1.	Funcionamiento	2-3
2.2.2.	Circuito promediado. Cuantificación de los efectos sobre el convertidor CC/CC	2-3
2.2.2.1.	Tensión media V_{AB}	2-3
2.2.2.2.	Balance de potencias	2-4
2.2.2.3.	Circuito promediado	2-5
2.3.	RAI con rectificador de media onda y convertidor de retroceso	2-6
2.3.1.	Funcionamiento	2-6
2.3.2.	Circuito promediado	2-7
2.3.2.1.	Tensión media V_{AB}	2-7
2.3.2.2.	Balance de potencias	2-8
2.3.2.3.	Circuito promediado	2-8

2.4.	RAI con rectificador de onda completa y convertidor con varios interruptores	2-9
2.4.1.	Funcionamiento normal	2-10
2.4.2.	Funcionamiento anómalo	2-13
2.4.3.	Circuito promediado para funcionamiento normal	2-15
2.4.3.1.	Tensión media V_{AB}	2-16
2.4.3.2.	Balance de potencias	2-16
2.4.3.3.	Circuito promediado	2-16
2.4.4.	Circuito promediado para funcionamiento anómalo	2-17
2.4.4.1.	Tensión media V_{AB}	2-17
2.4.4.2.	Balance de potencias	2-17
2.4.4.3.	Circuito promediado	2-18
2.4.5.	Funcionamiento anómalo como consecuencia del rizado de corriente en la bobina de filtro del convertidor CC/CC	2-19
2.5.	RAI con rectificador de onda completa y convertidor de retroceso	2-21
2.5.1.	Funcionamiento	2-21
2.5.2.	Circuito promediado y límites de funcionamiento	2-22
2.5.2.1.	Tensión media V_{AB}	2-24
2.5.2.2.	Balance de potencias	2-24
2.5.2.3.	Circuito promediado	2-24
2.6.	RAI con rectificador de onda completa y convertidor directo	2-25
2.7.	RAI de onda completa tipo (1) y convertidor con varios interruptores	2-26
2.8.	Conclusiones	2-29
3.	Influencia del condensador de almacenamiento sobre el contenido armónico de la corriente de entrada.	
3.1.	Introducción	3-1
3.2.	Convertidores de baja potencia en Clase A	3-2
3.3.	Influencia del condensador en el cumplimiento de la Norma	3-4
4.	EMI conducida en los RAA basados en RAI.	
4.1.	Introducción	4-1
4.2.	Aspectos generales	4-2
4.2.1.	Procedimientos de medida	4-3
4.2.2.	Aparatos de medida	4-3
4.2.3.	Límites para las interferencias conducidas	4-4
4.2.4.	Reducción de las EMI's conducidas	4-5
4.3.	Simulación de los equipos de medida	4-6
4.3.1.	El Receptor EMI	4-6
4.3.1.1.	Corriente de entrada en un RAA con RAI	4-7

4.3.1.2.	Tensión interferente en bornes de la red artificial incluido el filtro EMI (en modo diferencial)	4-7
4.3.1.3.	Filtro de entrada	4-9
4.3.1.4.	Circuito demodulador	4-10
4.3.1.5.	Medidor de cuasipico	4-11
4.3.1.6.	Indicador Electromecánico	4-12
4.4.	Resultados experimentales	4-13
4.5.	Conclusiones	4-15
4.6.	Bibliografía	4-16
5.	Control de los convertidores con RAA.	
5.1.	Introducción	5-1
5.2.	Controladores para los RAA con convertidor de retroceso	5-2
5.2.1.	Control mediante un solo lazo de tensión	5-5
5.2.2.	Control utilizando un lazo de corriente promediada	5-10
5.3.	Controladores para los RAA con convertidor principal en medio puente	5-14
5.3.1.	Control mediante un solo lazo de tensión	5-15
5.3.2.	Control utilizando n lazo de corriente promediada	5-19
5.4.	Conclusiones	5-22
5.5.	Bibliografía	5-23

Programas de MathCad impresos

6. Diseño de RAA basados en RAI con Rectificadores de onda completa tipo (1) y alimentación asimétrica.

6.1.	Obtención de las ecuaciones de funcionamiento	F-2
6.2.	Obtención de las características tensión-corriente (CTC)	F-9
6.3.	Corriente de entrada al RAA	F-11
6.4.	Potencia de entrada al RAA	F-11
6.5.	Corriente instantánea de entrada (cálculo de rizado)	F-12
6.6.	Evolución de la tensión en el condensador de almacenamiento	F-18
6.7.	Tensión máxima en el condensador de almacenamiento	F-21

7. Diseño de RAA en Clase A (tipo 1)

7.1.	Máximo contenido armónico permitido según Clase A	CA-2
------	---	------

7.2.	Condiciones de diseño	CA-2
7.3.	Corriente de entrada nominal base	CA-3
7.4.	Contenido armónico	CA-3
7.5.	Potencia base y máxima potencia de entrada	CA-4
7.6.	Tensión mínima en el condensador y corriente de pico	CA-4
7.7.	Tensión máxima en el condensador de almacenamiento	CA-4
7.8.	Obtención de los ábacos de diseño	CA-5
7.8.1.	Ejemplos de diseño	CA-6
8.	Diseño de RAA en Clase D (tipo 1)	
8.1.	Máximo contenido armónico permitido según Clase D	CD-2
8.2.	Condiciones de diseño	CD-2
8.3.	Corriente y potencia de entrada nominal base	CD-3
8.4.	Contenido armónico normalizado en mA_{rms}/W	CD-3
8.5.	Potencia base y valor de KLF	CD-4
8.6.	Tensión mínima en el condensador y corriente de pico	CD-4
8.7.	Tensión máxima en el condensador de almacenamiento	CD-5
8.8.	Proceso automatizado para la obtención de ábacos de diseño	CD-5
8.9.	Ejemplos de diseño	CD-7
9.	Contenido armónico de alta frecuencia (tipo 1).	
9.1.	Factor de mérito I_{FS}^2	EMI-2
9.2.	Variación del rizado con la potencia	EMI-3
9.3.	Variación del rizado con K	EMI-7
9.4.	Filtro paso banda	EMI-7
9.5.	Tensión a la salida de la LISN (incluido el efecto de un filtro en π)	EMI-8
9.6.	Circuito demodulador	EMI-11
9.7.	Detector de cuasipico	EMI-12
9.8.	Simulación de las medidas de EMI	EMI-13
9.9.	Ejemplos	EMI-14
10.	Diseño de controladores para convertidor de retroceso.	
10.1.	Control en Modo Tensión	CR-2
10.1.1.	Función de transferencia	CR-2
10.1.2.	Características del lazo de control deseado. Diseño del control	CR-9
10.2.	Control en Modo Corriente	CR-11
10.2.1.	Función de transferencia el lazo de corriente	CR-11
10.2.2.	Características del lazo de control deseado. Lazo de corriente	CR-12
10.2.3.	Características del lazo de control deseado. Lazo de tensión	CR-19
11.	Diseño de controladores para convertidor en medio puente (puente completo).	

11.1.	Control en Modo Tensión	CP-4
11.1.1.	Función de transferencia	CP-5
11.1.2.	Características del lazo de control deseado. Diseño del control	CP-6
11.2.	Control en Modo Corriente	CP-11
11.2.1.	Función de transferencia el lazo de corriente	CP-11
11.2.2.	Características del lazo de control deseado. Lazo de corriente	CP-12
11.2.3.	Características del lazo de control deseado. Lazo de tensión	CP-17
12.	Diseño de RAA en Clase A con ángulos de conducción pequeños.	
12.1.	Introducción	CAP-1
12.2.	Requisitos para cumplir la norma utilizando el modelo “Fuente de tensión y resistencia sin pérdidas	CAP-1
12.3.	Influencia del condensador de almacenamiento en el contenido armónico	CAP-6

Programas de MathCad en el CD

1. Diseño de RAA basados en RAI con Rectificadores de media onda.

- 1.1. Funcionamiento.
- 1.2. Diseño de RAA en Clase A (tipo 1)
- 1.3. Diseño de RAA en Clase D (tipo 1)
- 1.4. Contenido armónico de alta frecuencia (tipo 1).

2. Diseño de RAA basados en RAI con Rectificadores de onda completa tipo (1) y alimentación simétrica.

- 2.1. Funcionamiento.
- 2.2. Diseño de RAA en Clase A (tipo 1)
- 2.3. Diseño de RAA en Clase D (tipo 1)
- 2.4. Contenido armónico de alta frecuencia (tipo 1).

3. Diseño de RAA basados en RAI con Rectificadores de onda completa tipo (1) y alimentación asimétrica.

- 3.1. Funcionamiento.
- 3.2. Diseño de RAA en Clase A (tipo 1)
- 3.3. Diseño de RAA en Clase D (tipo 1)
- 3.4. Contenido armónico de alta frecuencia (tipo 1).

4. Diseño de RAA basados en RAI con Rectificadores de onda completa tipo (1) y alimentación asimétrica.

- 4.1. Funcionamiento.
- 4.2. Diseño de RAA en Clase A (tipo 1)

- 4.3. Diseño de RAA en Clase D (tipo 1)
- 4.4. Contenido armónico de alta frecuencia (tipo 1).
- 5. Diseño de RAA basados en RAI con Rectificadores de onda completa tipo (2) y alimentación simétrica.**
 - 5.1. Funcionamiento.
 - 5.2. Diseño de RAA en Clase A (tipo 1)
 - 5.3. Diseño de RAA en Clase D (tipo 1)
 - 5.4. Contenido armónico de alta frecuencia (tipo 1).
- 6. Diseño de RAA basados en RAI con Rectificadores de onda completa tipo (2) y alimentación asimétrica.**
 - 6.1. Funcionamiento.
 - 6.2. Diseño de RAA en Clase A (tipo 1)
 - 6.3. Diseño de RAA en Clase D (tipo 1)
 - 6.4. Contenido armónico de alta frecuencia (tipo 1).
- 7. Diseño de RAA basados en RAI con Rectificadores de onda completa tipo (1) y alimentación asimétrica.**
 - 7.1. Funcionamiento.
 - 7.2. Diseño de RAA en Clase A (tipo 1)
 - 7.3. Diseño de RAA en Clase D (tipo 1)
 - 7.4. Contenido armónico de alta frecuencia (tipo 1).