

## TABLA DE CONTENIDOS.

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>13</b>
1.1	Introducción general.....	13
1.2	Estado del Arte .....	15
1.2.1	Sintetizadores de sonido portátiles.....	15
1.2.2	Sintetizadores base para el desarrollo de la memoria .....	21
1.2.3	Efectos de sonidos .....	22
1.2.4	Hardware para la implementación.....	25
1.2.5	Discusión.....	28
1.3	Objetivos .....	29
1.3.1	Objetivo general .....	29
1.3.2	Objetivos específicos.....	29
1.3.3	Alcances y limitaciones.....	29
1.4	Metodología .....	31
1.4.1	Estudio y programación en la FPGA Zynq7000 .....	31
1.4.2	Realizar simulación, pruebas y modelaje de las ondas de sonido en Matlab	31
1.4.3	Traspasar los códigos de Matlab a la FPGA Zynq7000.....	32
1.4.4	Conexión de elementos periféricos a la FPGA .....	32
1.4.5	Realización de pruebas en la Zybo Z7 .....	32
1.4.6	Organización de la memoria .....	33
1.5	Estudio comparativo de mercado .....	33
<b>2</b>	<b>Especificaciones de la FPGA Zybo Z7 .....</b>	<b>35</b>
2.1	Introducción general.....	35
2.2	Especificaciones .....	35
2.3	Zynq APSoC Arquitectura .....	38
2.4	Reloj/Oscilador.....	39
2.5	Audio.....	40
2.6	I/O Básicas .....	42
2.7	Pmod Puertos.....	43
2.7.1	Pmod Estándar.....	44
2.7.2	Pmod de alta velocidad .....	44
<b>3</b>	<b>Funciones de sonido del sintetizador de audio en una plataforma Zynq-7000 .....</b>	<b>46</b>

3.1	Introducción .....	46
3.2	Implementación del modo compositor.....	53
3.2.1	Selección de audio.....	56
3.3	Utilización de los efectos de sonido.....	58
3.3.1	Selección de audio de los efectos de sonido .....	61
3.3.2	Efecto 1 Repetir por 2 .....	63
3.3.3	Efecto 2 Repetir por 4 .....	65
3.3.4	Efecto 3 Inversión .....	67
3.3.5	Efecto 4 Fill in.....	68
3.3.6	Efecto 5 Bouncing ball.....	71
3.3.7	Efecto 6 Glich.....	74
3.3.8	Efecto 7 Distorsión.....	77
3.3.9	Efecto 8 Half rate .....	79
3.3.10	Efecto 9 Feedback.....	81
3.3.11	Efecto 10 Filtro pasa alto .....	85
3.3.12	Efecto 11 Filtro pasa bajo.....	89
3.3.13	Efecto 12 Filtro Distorsión.....	92
3.3.14	Efecto 13 Fm .....	95
3.3.15	Efecto 14 Barrido de baja velocidad .....	98
3.3.16	Efecto 15 Barrido de alta velocidad .....	102
3.3.17	Efecto 16 Barrido Distorsión.....	105
3.4	Modificación de parámetros del modo patrón y de los efectos de sonido .....	108
3.4.1	Control perilla A.....	110
3.4.2	Control perilla B.....	111
3.5	Visualización de los datos de las variables de los efectos de sonido y modo patrón	114
<b>4</b>	<b>Implementación del sintetizador de sonido en una plataforma Zynq-7000 .....</b>	<b>116</b>
4.1	Introducción .....	116
4.2	Implementación del Hardware del sintetizador.....	116
4.2.1	Detector Táctil de 16/8 teclas detección IC TTP229-BSF.....	117
4.2.2	Encoder rotativo KY-040 .....	120
4.2.3	Pantalla LCD.....	121
4.2.4	Uso del Hardware Mixto.....	123
4.3	Implementación del software para efectos de filtrados y barridos.....	127

4.4	Análisis de costos del sintetizador de sonido .....	128
<b>5</b>	<b>Resultados experimentales.....</b>	<b>129</b>
5.1	Introducción .....	129
5.2	Implementación de los efectos de sonido del sintetizador .....	129
5.2.1	Adquisición y post tratamiento de la señal.....	129
5.2.2	Implementación del audio original.....	131
5.2.3	Implementación del efecto 1 Repetir por 2 .....	133
5.2.4	Implementación del efecto 2 Repetir por 4 .....	134
5.2.5	Implementación del efecto 3 Inversión .....	135
5.2.6	Implementación del efecto 4 Fill in.....	136
5.2.7	Implementación del efecto 5 Bouncing ball.....	137
5.2.8	Implementación del efecto 6 Glich .....	139
5.2.9	Implementación del efecto 7 Distorsión.....	141
5.2.10	Implementación del efecto 8 Half rate .....	141
5.2.11	Implementación del efecto 9 Feedback.....	142
5.2.12	Implementación del efecto 10 Filtro pasa alto .....	144
5.2.13	Implementación del efecto 11 Filtro pasa bajo .....	145
5.2.14	Implementación del efecto 12 Filtro distorsión.....	147
<b>6</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>150</b>
6.1	Introducción .....	150
6.2	Sumario .....	150
6.3	Conclusión.....	152
6.4	Trabajos futuros.....	153
<b>7</b>	<b>Referencias. ....</b>	<b>155</b>
<b>8</b>	<b>Enlaces videos de la implementación.....</b>	<b>159</b>
8.1	Modo patrón simple .....	159
8.2	Modo patrón compuesto.....	159
8.3	Modo patrón activo sus 16 tiempos .....	159
8.4	Efecto de sonidos .....	159

## Lista de Figuras

Fig.1.1.Sintetizador JUNO DS61[9].	16
Fig.1.2.Sintetizador Yamaha MX61 v2[11].	17
Fig.1.3.Sintetizador Korg Kross 2-61[13].	18
Fig.1.4.Diagrama del Sintetizador PO-32 KO[14].	20
Fig.1.5.Definición musical de la distorsión armónica[17].	24
Fig.1.6.Diagrama de bloque de los filtros digitales FIR y IIR: (a) FIR y (b) IIR.	25
Fig.2.1.Enumeración de los elementos de la Zybo Z7-10[33].	37
Fig.2.2.Arquitectura general de la Zybo Z7-10[33].	39
Fig.2.3.Esquema del reloj de la Zybo Z7-10[33].	40
Fig.2.4.Esquemático de conexión de entradas y salidas básicas de la Zybo Z7-10[33].	43
Fig.3.1.Diagrama del setup del sintetizador de sonido.	48
Fig.3.2.Diagrama de Flujo modo compositor del sintetizador de audio.	49
Fig.3.3.Diagrama de Flujo modo de efectos de sonido.	50
Fig.3.4.Diagrama de Flujo modo modificación de parámetros del modo compositor.	51
Fig.3.5.Diagrama de Flujo modo modificación de parámetros del modo efecto de sonido.	52
Fig.3.6.Gráfica de cantidad de modo patrón de los modelos investigados.	53
Fig.3.7.Diagrama de Flujo del modo compositor del sintetizador de audio.	55
Fig.3.8.Acondicionamiento del audio para simulación e implementación.	58
Fig.3.9.Diagrama de Flujo del modo efecto de sonido del sintetizador de audio.	60
Fig.3.10.Gráfica vectorial original del sonido 1.	63
Fig.3.11.Diagrama de flujo del efecto 1.	64
Fig.3.12.Gráficas vectoriales del sonido 1 y la aplicación del efecto 1.	65
Fig.3.13.Diagrama de flujo del efecto 2.	66
Fig.3.14.Gráficas vectoriales del sonido 1 y aplicación del efecto 2.	66
Fig.3.15.Diagrama de flujo del efecto 3.	67
Fig.3.16.Gráficas vectoriales del sonido 1 y la aplicación del efecto 3.	68
Fig.3.17.Gráficas vectoriales del sonido 1 y la aplicación del efecto 4.	70
Fig.3.18.Gráfica vectorial del sonido 1 y sus respectivos rebotes, con la aplicación del efecto 5.	74
Fig.3.19.Gráficas vectoriales del sonido 1 y los vectores del Glich, con la aplicación del efecto 6.	77
Fig.3.20.Diagrama de flujo del efecto 7.	78
Fig.3.21.Gráfica vectorial del sonido 1 con la aplicación del efecto 7.	79
Fig.3.22.Diagrama de flujo del efecto 8.	80
Fig.3.23.Gráfica vectorial del sonido 1 con la aplicación del efecto 8.	81
Fig.3.24.Diagrama de bloque de la estrategia de Feedback negativo[50].	82
Fig.3.25.Diagrama polo zero del sistema del Feedback negativo.	83
Fig.3.26.Diagrama de flujo del efecto 9.	84
Fig.3.27.Gráfica vectorial del sonido 1 con la aplicación del efecto 9.	85
Fig.3.28.Respuesta de filtrador de un filtro pasa bajo, de una frecuencia de corte de 3000 Hz, en función del número de coeficientes ocupados[52].	86
Fig.3.29.Diagrama de flujo del efecto 10.	87
Fig.3.30.Gráfica vectorial del sonido 1 con la aplicación del efecto 10.	88

Fig.3.31.Transformada de Fourier de la Fig.3.30.....	89
Fig.3.32.Diagrama de flujo del efecto 11.....	90
Fig.3.33.Gráfica vectorial del sonido 1 con la aplicación del efecto 11.....	91
Fig.3.34.Transformada de Fourier de la Fig.3.33.....	92
Fig.3.35.Diagrama de flujo del efecto 12.....	93
Fig.3.36.Gráfica vectorial del sonido 1 con la aplicación del efecto 12.....	94
Fig.3.37.Transformada de Fourier de la Fig.3.36.....	95
Fig.3.38.Diagrama de flujo del efecto 13.....	97
Fig.3.39.Gráficas vectoriales de la señal portadora, moduladora y la aplicación del efecto 12 sobre el sonido 1 (Señal Fm).....	98
Fig.3.40.Diagrama de flujo del efecto 14.....	100
Fig.3.41.Gráfica vectorial del sonido 1 con la aplicación del efecto 14.....	101
Fig.3.42.Transformada de Fourier de la Fig.3.41.....	101
Fig.3.43.Diagrama de flujo del efecto 15.....	103
Fig.3.44.Gráfica vectorial del sonido 1 con la aplicación del efecto 15.....	104
Fig.3.45.Transformada de Fourier de la Fig.3.44.....	105
Fig.3.46.Diagrama de flujo del efecto 15.....	106
Fig.3.47.Gráfica vectorial del sonido 1 con la aplicación del efecto 16.....	107
Fig.3.48.Transformada de Fourier de la Fig.3.46.....	108
Fig.3.49.Diagrama de flujo del funcionamiento de la perilla A.....	111
Fig.3.50.Diagrama de flujo del funcionamiento de la perilla B.....	112
Fig.3.51.Distribución de bloques de información según línea de la pantalla LCD.....	115
Fig.4.1.Diagrama interno de conexiones del integrado TTP229-BSF.....	118
Fig.4.2.Tarjeta física teclado táctil 8/16 teclas TTP229-BSF.....	118
Fig.4.3.Diagrama del tren de pulsos de control del teclado táctil 8/16 teclas TTP229-BSF.....	119
Fig.4.4.Pines de conexión encoder rotativo KY-040[57].....	120
Fig.4.5.Señales A y B según su sentido de giro del encoder rotativo KY-040[57].....	121
Fig.4.6.Modelo físico pantalla LCD module 2004 más comunicador I <sup>2</sup> C[59].....	122
Fig.4.7.Esquema del hardware mixto del sintetizador de audio ocupado en Vivado.....	123
Fig.4.8.Núcleo Zynq 7 Processing System.....	124
Fig.4.9.Núcleo Zynq 7 Processing System.....	124
Fig.4.10.Núcleo AXI Interconnect.....	125
Fig.4.11.Núcleo AXI GPIO.....	126
Fig.4.12.Núcleo Zybo audio ctrl.....	126
Fig.5.1.Diagrama de grabación y post tratamiento del audio.....	131
Fig. 5.2.Gráfica original vectorial del audio 1 vs su implementación procesada en la FPGA.....	132
Fig.5.3.Transformada de Fourier de la Fig.5.2.....	133
Fig.5.4.Gráfica de la simulación del efecto de repetir por 2 del audio 1 vs su implementación en la FPGA.....	134
Fig.5.5.Gráfica de la simulación del efecto de repetir por 2 del audio 1 vs su implementación en la FPGA.....	135
Fig.5.6.Gráfica de la simulación del efecto de inversión del audio 1 vs su implementación en la FPGA.....	136

Fig.5.7.Gráfica de la simulación del efecto de Fill in del audio 1 vs su implementación en la FPGA.....	137
Fig.5.8.Gráfica ideal y real de la simulación del efecto de Bouncing ball del audio 1 vs su implementación en la FPGA.....	138
Fig.5.9.Gráfica ideal y real de la simulación del efecto de Glich del audio 1 vs su implementación en la FPGA.....	140
Fig.5.10.Gráfica de la simulación del efecto de Distorsión del audio 1 vs su implementación en la FPGA. ....	141
Fig.5.11.Gráfica de la simulación del efecto de Half rate del audio 1 vs su implementación en la FPGA. ....	142
Fig.5.12.Gráfica de la simulación del efecto de Feedback del audio 1 vs su implementación en la FPGA. ....	143
Fig.5.13.Gráfica de la simulación del efecto de Filtro pasa alto del audio 1 vs su implementación en la FPGA.....	144
Fig.5.14.Transformada de Fourier de la Fig.5.13. ....	145
Fig.5.15. Gráfica de la simulación del efecto de Filtro pasa bajo del audio 1 vs su implementación en la FPGA.....	146
Fig.5.16.Transformada de Fourier de la Fig.5.15. ....	147
Fig.5.17.Gráfica de la simulación del efecto de Filtro distorsión del audio 1 vs su implementación en la FPGA.....	148
Fig.5.18.Transformada de Fourier de la Fig.5.17.....	149

## Lista de Tablas

Tabla 1.1.Efectos de sonido de los sintetizadores PO-20 KO, PO-28 KO y PO-32 KO. ....	23
Tabla 1.2.Listado de precios de los sintetizadores de música y la FPGA. ....	34
Tabla 2.1. Listado elementos de la Zybo Z7-10[33]. ....	38
Tabla 2.2. Señales de audio análogas[33]. ....	40
Tabla 2.3. Señales digitales del audio para el códec SSM2603 en modo de esclavo[33]. ....	42
Tabla 2.4. Tipo de Pmod y definición de sus pines de la Zybo Z7-10[33].	44
Tabla 3.1.Sonidos según su canal del modo compositor. ....	57
Tabla 3.2.Nombre de los efectos de sonido y su posición correspondiente. ....	61
Tabla 3.3.Sonidos según la posición del teclado táctil del modo de efectos de sonido. ....	62
Tabla 3.4.Polos y zeros resultante del sistema aplicando Feedback negativo. ....	82
Tabla 4.1.Ficha técnica básica del teclado táctil de 8/16 teclas. ....	119
Tabla 4.2.Ficha técnica Encoder rotativo KY-040[57]. ....	120
Tabla 4.3. Ficha técnica Pantalla LCD module 2004[58]. ....	122
Tabla 4.4.Elementos principales ocupados en la implementación del sintetizador de audio. .....	128

## Lista de ecuaciones

(1.1) Ecuación de la distorsión armónica .....	24
(2.2) Intervalos de vacío del efecto 4 .....	69
(3.3) Ecuación del largo del vector de audio del efecto 5 .....	71
(3.4) Ecuación del largo del vector de audio del efecto 6 .....	75
(3.5) Ecuación del primer sistema del efecto 9 .....	82
(3.6) Ecuación del segundo sistema del efecto 9.....	82
(3.7) Calculo del Feedback negativo del efecto 9 .....	82
(3.8) Ecuación de la moduladora del efecto 13 .....	95
(3.9) Ecuación de la portador del efecto 13.....	95
(3.10) Ecuación de la FM del efecto 13.....	95
(4.11) Ecuación vectorial del efecto de filtrado .....	127
(4.12) Ecuación vectorial del efecto de barrido.....	128