

Control digital para procesamiento análogo de audio

Digital control for analog audio processing

Recibido: junio de 2012
Arbitrado: septiembre de 2012

Mijail A. Posada G.*; William Romo M.**; Miguel Ricardo Pérez P.***

Resumen

En este artículo se realiza una descripción sobre el desarrollo del dispositivo de procesamiento análogo de audio que permite ser controlado digitalmente. La integración de la tecnología digital y análoga en un sistema permite aprovechar los beneficios de ambas tecnologías, la versatilidad y automatización que ofrece el control digital y el procesamiento de cero latencia con el color propio que brinda un sistema análogo a una señal de audio.

Palabras clave

Control digital, procesamiento análogo, audio, procesamiento de señal, dispositivo.

Abstract

This article provides a description of the development of an audio device that allows analog signal processing to be controlled digitally. The integration of digital and analog technology into a system allows the benefit of both technologies, versatility and automation offered by the digital control and zero-latency processing with the signal color that provides an analog system to an audio signal.

Keywords

Digital control, analog processing, audio, signal processing, device.

I. Introducción

Las características del procesamiento análogo señal de audio, permiten generar respuestas en frecuencias particulares, que muy difícilmente pueden ser simuladas con sistemas DSP (Procesamiento Digital de Señales), haciendo que el uso de procesadores análogos sea cada vez más frecuente. Una de las desventajas de proceso análogo es el de no poder almacenar o controlar de manera remota y posterior una configuración particular para un posterior uso, pero en la actualidad los sistemas digitales logran resumir muchos de estos procesos y a su vez almacenar múltiples configuraciones para luego ser aplicadas. El proyecto implica la interacción de estos dos sistemas de proceso, en este caso el control digital del proceso sin alterar su contenido análogo. El desarrollo del mismo inicia con la selección de procesos análogos comúnmente aplicados en la interpretación de un instrumento musical como la guitarra eléctrica, para nuestro caso: distorsión, control de tono y etapa de ganancia.

En el proyecto se establece el control digital de la activación y desactivación individual de cada etapa de proceso análogo, utilizando el protocolo

* Magíster en Ingeniería de Sonido. Ingeniero Electrónico. Universidad Javeriana. Docente de la Universidad de San Buenaventura. emposada@gmail.com

** Máster Recording Program Engineer. romowilliam@gmail.com

*** Ingeniero Electrónico. perez_pereira_m@yahoo.com

MIDI, con un software diseñado especialmente para este fin. Dentro del proyecto se contempla el desarrollo e integración de los módulos de procesamiento análogo y digitales en un solo sistema.

La investigación se basa en el desarrollo de sistemas que permitan controlar los parámetros para el proceso análogo, con las ventajas de control y automatización que ofrecen los sistemas digitales.

II. Procesamiento análogo (diseño)

El procesamiento análogo de audio es hoy en día muy usado en el ámbito profesional de audio, debido a que no presenta latencia en el procesamiento de una señal y en algunos casos por sus características tímbricas comparadas al procesamiento digital.

En el proyecto se desarrolló un dispositivo que maneja tres procesos diferentes de audio. Los tres tipos de procesamiento de señal de audio se escogieron basándose en los efectos sonoros de mayor uso en el ámbito de producción musical y más específicamente para el instrumento musical como la guitarra eléctrica. El procesamiento análogo de señal implementado en el sistema son los efectos sonoros de distorsión, control de tono y ganancia.

A. Módulo de distorsión

La característica principal del módulo de distorsión es la de deformar la forma de onda original para agregar distorsión a la señal. El módulo de distorsión fue desarrollado basado en la distorsión conocida como «overdrive»¹ y su construcción se basó en el modelo de distorsión «Tube Screamer» diseñado por S. Tamura [1].

En la figura 1 se puede observar el circuito de distorsión implementado.

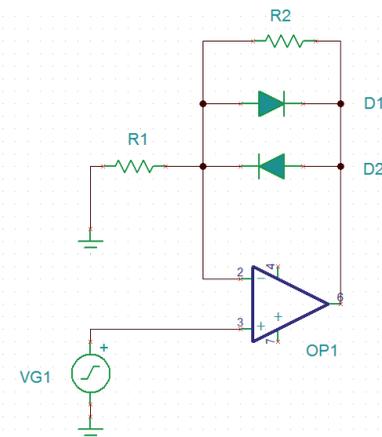
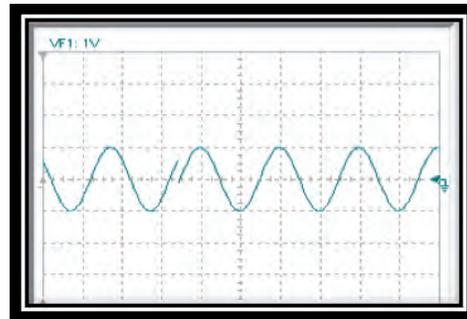
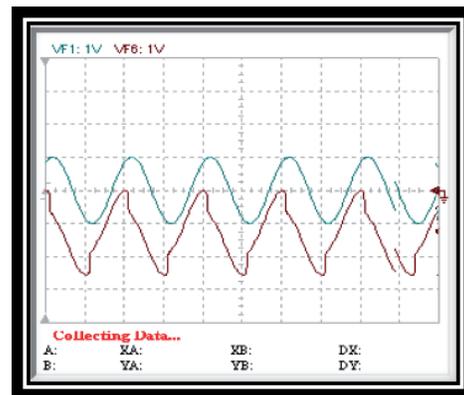


Figura 1. Esquemático circuito de módulo de distorsión.

La simulación del sistema se realizó empleando el software TINA V8² versión académica [5]. Se ingresó una señal sinusoidal de 1kHz de 1Vpp y se observó la salida del sistema.



Gráfica 1. Señal original ingresada al sistema de 1kHz con 1Vpp.



Gráfica 2. Señal original y la señal de la salida del circuito.

- 1 Tipo de distorsión sonora, que se caracteriza por recortar la forma de onda de la señal original.
- 2 TINA Design Suite es un software para simulación de circuitos electrónicos y diseños de PCB.

Como se puede observar en la figura 3, la señal original (señal superior) es modificada en su forma de onda (señal inferior), lo que produce un sonido distintivo de la señal de audio original denominada distorsión.

B. Control de tono

La ecualización o el uso de filtros en una señal, permite modificar su respuesta en frecuencia y modificar así la sonoridad de una señal de audio. Existen varios tipos de filtros, los cuales son utilizados dependiendo la aplicación del sistema. En el proyecto se escogieron los filtros tipo shelving [2] y su construcción se basó en el control de tono Baxandall [3].

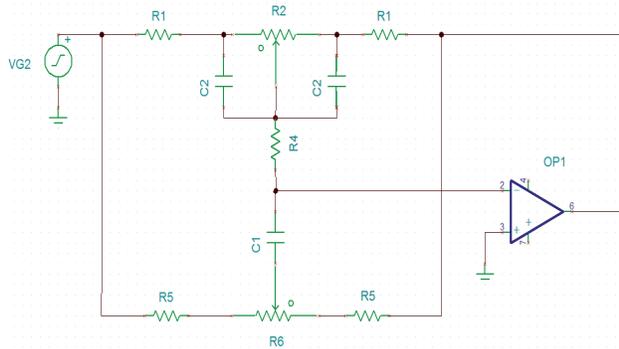


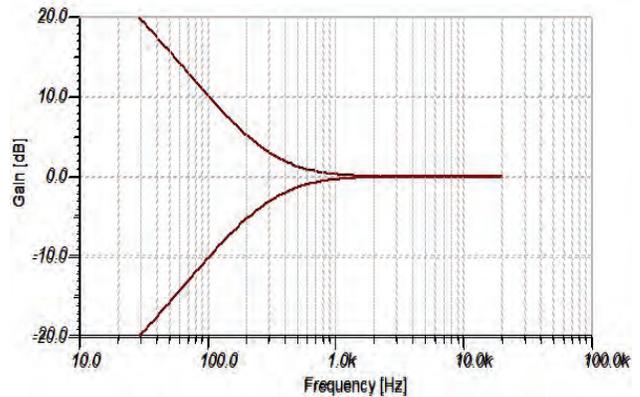
Figura 2. Esquema del circuito del control de tonos.

En la figura 2 se observa el circuito de control de tonos implementado en el sistema, el cual es un filtro activo de dos bandas, que permite dar ganancia o atenuar la contribución de frecuencias bajas y/o frecuencias altas a la señal de audio. En donde las frecuencias de corte (Low/High) están dadas por las siguientes ecuaciones Ec.1 y Ec.3:

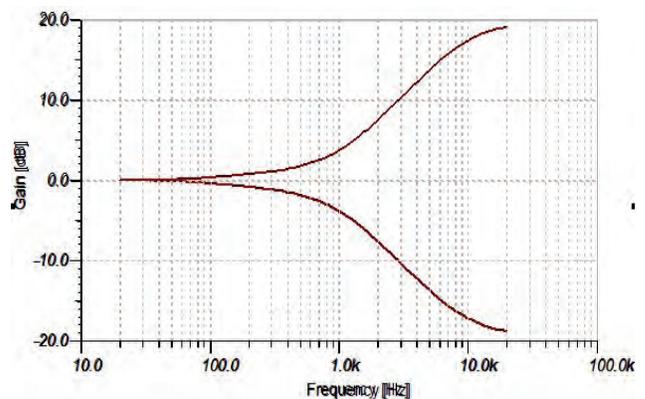
$$f_{Low} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \quad (\text{Ec.1})$$

$$f_{High} = \frac{1}{2\pi R_5 C_1} \quad (\text{Ec.2})$$

En las gráficas 5 y 6, se observa la simulación de la respuesta en frecuencia de los filtros shelving implementados en el control de tonos para bajas y altas frecuencias.



Gráfica 3. Respuesta en frecuencia del control de tonos para frecuencias bajas.



Gráfica 4. Respuesta en frecuencia del control de tonos para frecuencias altas.

En cada una de las gráficas se observan dos trazos, donde el trazo superior indica la ganancia máxima en decibeles (dB) y el trazo inferior indica la atenuación mínima en decibeles (dB) que el control de tonos puede generar a la región de frecuencias en Hertz (Hz) involucradas.

C. Ganancia

La ganancia del nivel de entrada o salida de una señal de audio es un factor importante en el proceso de una señal sonora, ya que este determina la cantidad del nivel de señal que se va a procesar o percibir en un módulo electrónico o entorno acústico. En el proyecto se realizó un módulo de ganancia utilizando amplificador operacional en configuración inversor como se evidencia en la figura 3.

3 Circuito tomado de la nota de aplicaciones tone Control del amplificador operacional de audio LM833.[4].

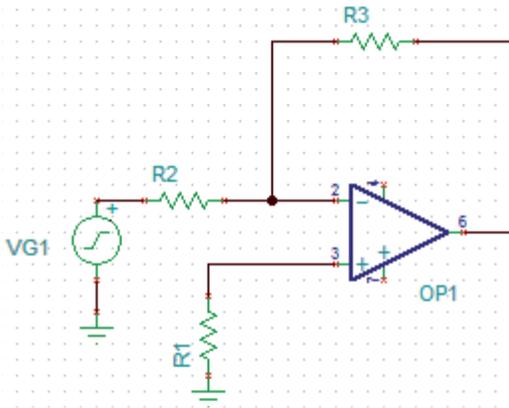
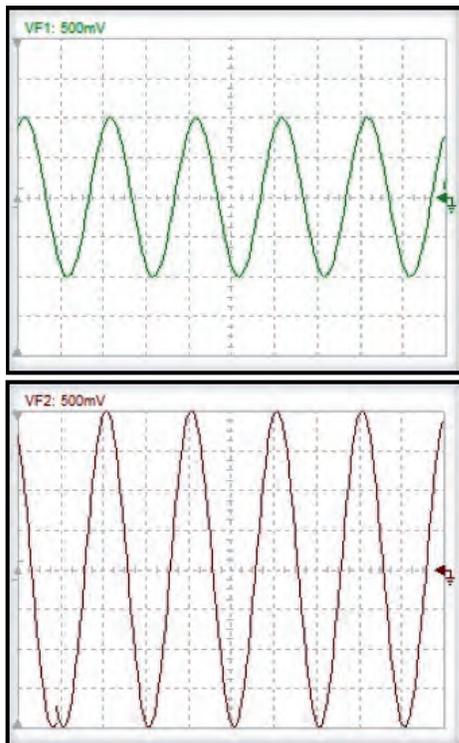


Figura 3. Respuesta en frecuencia del control de tonos para frecuencias altas.

Donde la ganancia total del sistema está determinada por la ecuación [3].

$$V_{OUT} = V_{IN} \times \left| \frac{-R_3}{R_2} \right| \quad (\text{Ec.3})$$

En la gráfica 5 se observa la ganancia suministrada por el sistema a una señal sinusoidal de 1000Hz a 500mV de valor pico. Hay que notar también que aparte de proporcionar ganancia, la señal resultante se desfasa 180 grados respecto a la señal original.



Gráfica 5. Señal original (izq.) y señal resultante (der) del módulo de ganancia.

III. Control digital

Un sistema digital ofrece ciertas ventajas para el control de un dispositivo, ya que este permite realizar un control remoto e inclusive automatizar uno o varios procesos del sistema.

En el proyecto se realizó un control digital de la activación y desactivación de cada módulo de procesamiento de señal, para seleccionar el efecto sonoro deseado del dispositivo. El control se realiza por medio de una interfaz gráfica que utiliza el protocolo de comunicación MIDI⁴.

A. Protocolo MIDI

El dispositivo utiliza el protocolo MIDI [6] como medio de comunicación y control digital para cada módulo de efectos sonoros implementados. El protocolo MIDI, es un protocolo de comunicación serial entre dispositivos y/o instrumentos electrónicos para transmitir y compartir información de eventos sonoros.

El dispositivo cuenta con una entrada MIDI como se muestra en la figura 4, para ser controlado digitalmente a través de este protocolo.

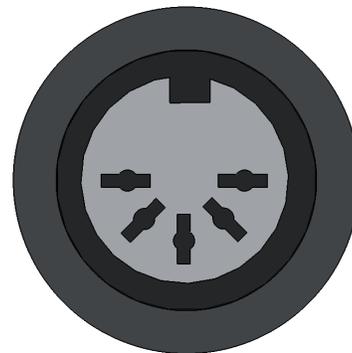


Figura 4. Conector MIDI para la comunicación y control digital.

B. Comunicación digital

Para transmitir la información y comandos de control al dispositivo electrónico se utilizó el micro-

controlador PIC16F87XA [7], el cual permite ser programado para recibir datos MIDI y ejecutar así una acción específica.

Hay que tener en cuenta que es necesario utilizar un opto acoplador para recibir los datos MIDI y transmitirlos hacia el microcontrolador, ya que este aísla las tierras eléctricas y evita así los ruidos eléctricos que se puedan generar al interconectar dos o más dispositivos por medio de un cable MIDI [8].

Para realizar el control digital de activación y desactivación de cada módulo de procesamiento análogo de audio se utilizaron en el proyecto los interruptores digitales CD4066B [9], los cuales permiten realizar la interrupción y/o multiplexación de señales análogas. Estos interruptores son controlados por señales de control provenientes del microcontrolador para seleccionar el tipo de proceso sonoro deseado.

C. Interfaz gráfica

El desarrollo de la interfaz gráfica se desarrolló con el software SynthMaker⁵ [10] en donde se programaron los comandos de activación y desactivación necesarios para el control digital hacia el dispositivo a través del protocolo MIDI.

Es posible utilizar diferentes mensajes MIDI para controlar diversos tipos de eventos. Dentro de los tipos de mensajes a utilizar es pertinente analizar qué tipo de control se quiere implementar en el sistema. MIDI permite utilizar mensajes para un control de tipo continuo o de tipo discreto [11], donde la sintaxis y construcción del mensaje varía de acuerdo a dicho control.

En el sistema se implementaron tres tipos de control tipo on/off para la activación y desactivación de los efectos sonoros, sin embargo, es importante notar que es posible utilizar diferentes tipos de control dependiendo la aplicación o manejo del sistema a desarrollar. En la figura 10 se puede observar la interfaz gráfica final desarrolla-

da. Esta permite ser controlada por el usuario con el mouse del computador o a través de cualquier dispositivo o software que maneje el protocolo MIDI, lo cual brinda la posibilidad de automatizar el proceso de control en función de la aplicación final del sistema.



Figura 5. Interfaz gráfica del sistema para el control digital.

IV. Desarrollo del dispositivo

El desarrollo del dispositivo electrónico cuenta con elementos que involucran el procesamiento análogo de audio con control digital. Dentro del dispositivo se utilizaron configuraciones especiales de circuitos electrónicos para su correcto funcionamiento.

A. Tierra virtual

La tierra virtual es un concepto en la electrónica en donde se genera un nodo de referencia diferente a la tierra real del circuito [12]. Esto es muy útil en situaciones en donde se cuenta con una sola fuente de tensión y se necesita una fuente dual para la correcta operación del dispositivo. De tal manera que la tierra de la fuente no está conectada directamente a la tierra virtual del circuito, lo que hace posible su uso para operar el sistema con una fuente dual y utilizar la tierra virtual como la referencia de una señal eléctrica.

⁵ Software para programación de audio.

B. True Bypass

Utilizar diferentes tipos de procesamiento de señal en el dispositivo con control digital, permite la posibilidad de activar o desactivar cada efecto sonoro de manera independiente, de tal forma que el usuario pueda escoger el tipo de procesamiento adecuado de acuerdo a su finalidad.

El flujo de la señal de audio puede atravesar uno o varios efectos sonoros, sin embargo, cada uno de estos módulos de procesamiento de señal se encuentran interconectados eléctricamente de tal manera que un módulo de efecto ve la impedancia del siguiente módulo y viceversa.

El efecto de la impedancia de una etapa a otra es importante a nivel eléctrico, ya que esto permite que la señal de interés mantenga sus propiedades de calidad sonora. Por esta razón el uso de una configuración True Bypass en los interruptores [13], permite que al conectar o desconectar una etapa eléctrica, la impedancia de un circuito no afecte la impedancia del otro. En la figura 6 se puede observar una configuración True Bypass.

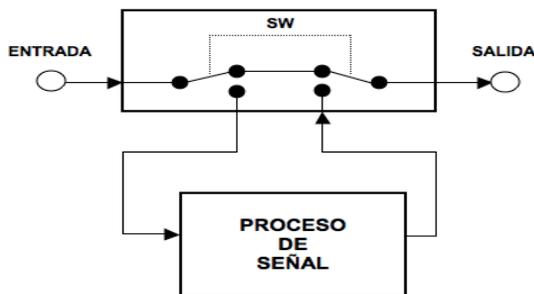


Figura 6. Configuración True Bypass.

C. Montaje final

Para el montaje del dispositivo es importante notar que se utilizan diferentes tensiones de voltaje para alimentar la parte análoga y la parte digital del sistema. La correcta interconexión eléctrica del procesamiento análogo con el control digital del sistema permitirá que la señal de audio opere a los niveles de tensión funcionales dentro del sistema sin saturarse o presentar distorsión.

En el dispositivo electrónico desarrollado se utilizaron los amplificadores operacionales TL071 [14], debido a sus características de bajo ruido y baja distorsión armónica para procesar la señal de audio. Los niveles de tensión utilizados en la sección análoga del dispositivo fueron de 9 a 12 voltios, mientras que para la parte digital se utilizó una fuente regulada a 5 voltios. En las figuras 7 y 8 se puede observar el diagrama de bloques del dispositivo y el montaje final.

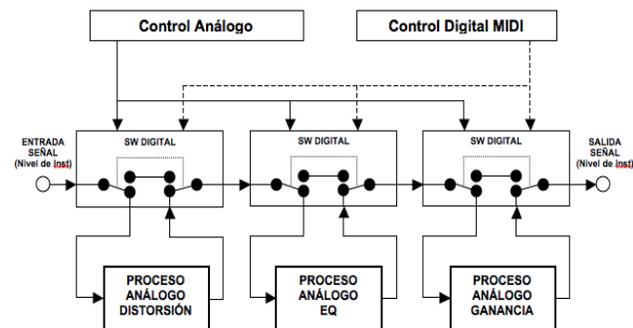


Figura 7. Diagrama de bloques del sistema.



Figura 8. Montaje final del dispositivo.

V. Análisis del sistema

Una vez realizados los diseños y construido el prototipo se realizan las mediciones y pruebas al sistema.

A. Impedancia entrada y salida

Para la medición de la impedancia de entrada y salida, se utilizó una señal sinusoidal de 1Khz a 225mVRMS con una resistencia de carga de 1KOhm (RL).

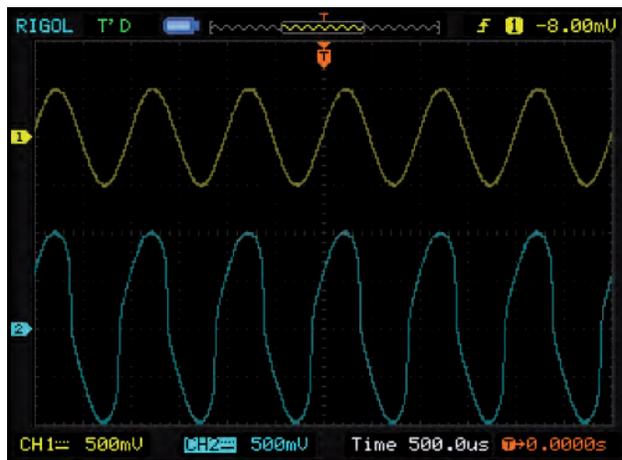
$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{i_{in}} = \frac{230.8 \text{ mV}}{0.8 \mu\text{A}} = 296 \text{ K}\Omega \text{ (Ec.4)}$$

$$Z_{out} = R_L \left| \frac{V_o}{V_L} - 1 \right| = 1 \text{ K}\Omega \left| \frac{235 \text{ mV}}{189 \text{ mV}} - 1 \right| = 237 \Omega \text{ (Ec.5)}$$

El dispositivo posee una impedancia de entrada alta, la cual es apropiada para la conexión con instrumentos musicales como la guitarra. Mientras que la impedancia de salida es baja, apropiada para la conexión de amplificadores de potencia.

B. Módulo de distorsión

Para el análisis de la distorsión se utilizó un osciloscopio digital y un generador de funciones para observar la deformación máxima de la onda que produce el módulo de distorsión.



Gráfica 6. Deformación de una onda sinusoidal generada por el módulo de distorsión del dispositivo.

A la entrada del dispositivo se utilizó una señal sinusoidal de 1000Hz a 1 Vpp (arriba), mientras que a la salida se observa la deformación que sufre la onda (abajo). Se observa que aparte de la deformación de la onda señal, se produce además una ganancia del doble de la señal original (2Vpp). Lo cual es un comportamiento típico de las etapas de distorsión (suministrar ganancia) en los dispositivos y procesadores de audio.

C. Módulo de control de tono

Para el análisis del control de tono se utilizó un software de medición denominado «Easera

Systune» [15] que permite analizar la función de transferencia del sistema y observar su respuesta en frecuencia.

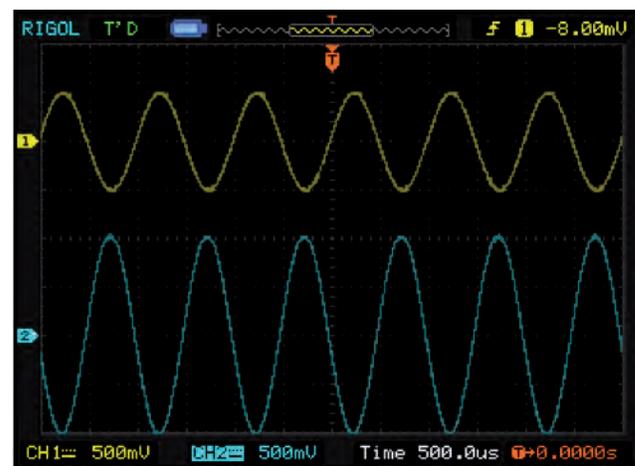


Gráfica 7. Función de transferencia del sistema del control de tono.

En la gráfica se observa la función de transferencia del módulo del control tono, en donde se observan el comportamiento de los filtros tipo shelf en bajas y altas frecuencias, +/- 8dB a 80Hz y +/- 12dB a 10KHz.

D. Módulo de ganancia

Para el módulo de ganancia se observó el comportamiento en el osciloscopio para una sinusoidal de 1KHz a 1Vpp.



Gráfica 8. Etapa de ganancia de una señal sinusoidal.

En la gráfica, se observa la señal de salida del sistema (abajo) con la máxima ganancia (6dB), que

corresponde al doble de la señal original (arriba). En donde además se evidencia una inversión de fase de la señal original de 180° , correspondiendo a la configuración de amplificador inversor utilizado en el diseño.

E. Corriente de consumo

Para determinar el consumo eléctrico se conectó el dispositivo a 9V DC en serie con un medidor de corriente, inyectando una señal de audio a la entrada y utilizando todos los procesos del dispositivo activo a su máximo nivel, con lo cual se obtuvo un consumo de corriente de 35 mA.

VI. Conclusiones

El control digital permite al usuario o músico tener mayor libertad en su interpretación, puesto que ofrece automatizar el procesamiento de señal.

Es necesario tener en cuenta los niveles de tensión que alimentan el dispositivo para evitar saturación durante el proceso de la señal, ya que el flujo de señal atraviesa las etapas del circuito análogo y digital con diferentes niveles de tensión.

El uso de un true bypass para la activación y desactivación de los procesos permite que la señal de audio no se altere en el paso de una etapa a otra, manteniendo así su calidad sonora original debido a que la impedancia de una etapa no se ve afectada por las demás.

Considerando que el dispositivo posee circuitos análogos y digitales, el consumo energético del dispositivo de 35mA es bajo, permitiendo así el uso del producto con una batería eléctrica por varias horas.

Referencias bibliográficas

- [1] BTE Audio, Tube Screamer's Secrets. Disponible online en: <http://www.bteaudio.com/articles/TSS/TSS.html> [Consulta: 06-06-2012].
- [2] M. Holters, U. Zolzer. «Parametric Higher-Order Shelving Filters». European Signal Processing Conference . Italy. 2006. pp 1-2
- [3] P. Baxandall. «Negative-Feedback Tone Control». Wireless World. 1952. pp 1-5
- [4] National Semiconductor. LM833 Dual Audio Operational Amplifier. [Datasheet]. January 2003. pp 9-12
- [5] Design Soft. Tina Design Suite Manual. Disponible online en http://www.tina.com/distrib/en/tina8doc/TINA_8.0_manual.pdf [Consulta: 08-06-2012].
- [6] MIDI Manufacturesr Association. An Introduction to MIDI. Disponible online en: <http://www.midi.org/aboutmidi/intromidi.pdf> [Consulta: 08-06-2012].
- [7] Microchip Technology Inc. PIC16F87XA [Data Sheet]. 2003. pp 1-5.
- [8] MIDI Manufacturesr Association. MIDI Electrical Specification Diagram & Proper Design of Joystick/MIDI Adapter. Disponible online en: <http://www.midi.org/techspecs/electrispec.php> [Consulta: 08-06-2012].
- [9] Texas Instrument. CMOS Quad Bilateral Switch [Data sheet]. 1998. pp 166-169.
- [10] Outsims Ltd. SynthMaker Overview. Disponible online en: <http://www.synthmaker.co.uk/about.html> [Consulta: 09-06-2012].
- [11] MIDI Manufacturesr Association. MIDI Messages. Disponible online en: <http://www.midi.org/techspecs/midimessages.php> [Consulta: 09-06-2012].
- [12] B. Laumeister, «Rail Splitter, from Abraham Lincoln to Virtual Ground». [Applicarion Note]. Maxim. 2008. pp 1-3.
- [13] C. Anderton. Electronic Projects for Musicians. 1993. pp 110-112.
- [14] STMicroelectronic. TL071 Low noise J-Fet single operational amplifiers. [Datasheet] 2001. pp. 1-7.
- [15] AFMG Ahnert Feistel Media Group. EASERA SysTune [Software Manual]. Rev. 2. 2009. pp 44-48.