

Prototipo de teclado musical con efectos de onda

RESUMEN

Como proyecto de aplicación para optar el título de tecnólogos en electrónica se diseñó un teclado musical con efectos de onda, con el fin de dar una buena alternativa a establecimientos educativos de bajos recursos y usuarios interesados en incursionar o innovar en el campo de la música por medio de instrumentos electrónicos fáciles de utilizar y con buenas prestaciones para el usuario.

El resultado que se plantea es diseñar y construir un instrumento musical electrónico con efectos basados en retardos ajustables de forma análoga, compatible con formato MIDI, capaz de enviar, en tiempo real a un computador, la interpretación que genere el usuario para ser utilizada en grabación o edición.

Palabras clave

MIDI, teclado electrónico, generación electrónica de tonos

DIRECTOR: JAIME BURGOS



DAVID JULIO GARCÍA FLÓREZ

Estudiante de sexto semestre de Tecnología en Electrónica.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
E-mail: davitropolis@yahoo.com



EDWIN ANDRÉS RODRÍGUEZ VARGAS

Estudiante de sexto semestre de Tecnología en Electrónica.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
E-mail: edwwinsg@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Tras el estudio y la observación específicos de las limitantes comunes en la educación pública (específicamente en colegios distritales) y en usuarios que sólo toman la música como pasatiempo, o para aprender de manera más seria, se planteó el desarrollo de un prototipo que solucione los problemas de costos, complejidad de manejo y soporte técnico económico. Además, se pretende que esté encaminado a ahorrar tiempo de programación y disminuir el desperdicio de funciones.

El principal objetivo es crear un dispositivo con características específicas de fácil utilización, expandible y económico, tanto para el usuario común como para la adecuación en métodos de enseñanza en colegios distritales. Dicho instrumento debe tener una excelente presentación y una buena calidad de sonido.

CONTENIDO

Este artículo se plantea de la siguiente forma:

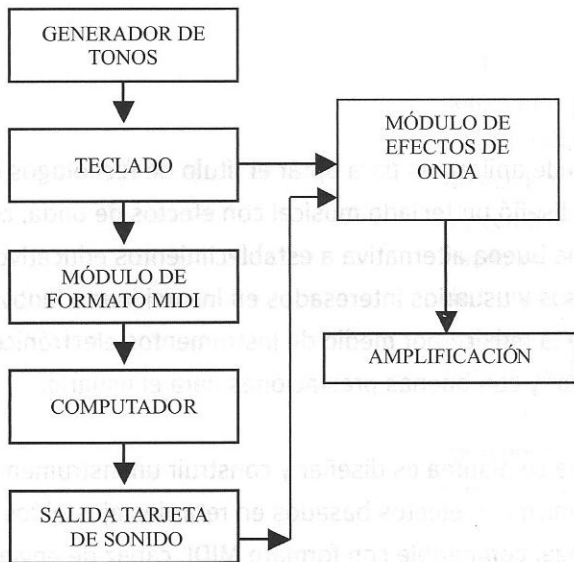


Figura 1. Diagrama de bloques del prototipo.

Generador de Tonos

Este generador produce una serie de señales eléctricas con una frecuencia determinada, de acuerdo con la afinación de cada nota, que después de ser procesadas son convertidas en ondas sonoras por un parlante o altavoz. [2]

Para la generación de la señal eléctrica se utiliza la división de frecuencias, por medio del microcontrolador PIC16F84A por cada octava, como se observa en la figura 2.

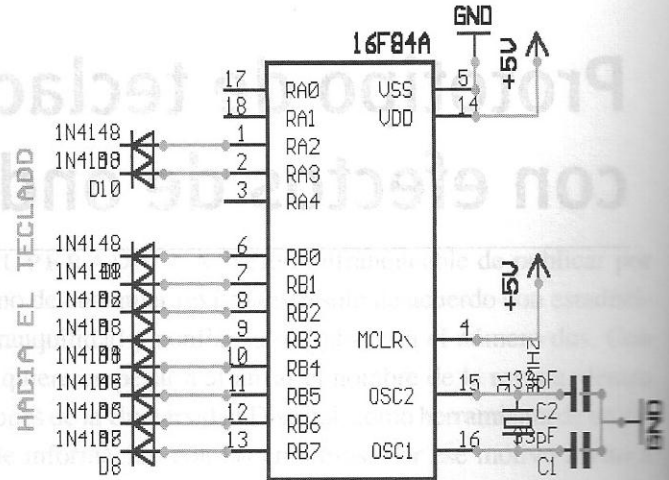


Figura 2. Circuito de generador de tonos

La tabla 1 muestra la medición de estas frecuencias para cada una de las notas musicales en las escalas señaladas.

Tabla 1. Tabla de frecuencias medidas con el osciloscopio.

Octava	2	3	4	5	6
Nota					
DO	65,38	130,21	260,42	520,83	1041,67
DO#	69,44	138,28	279,02	558,03	No utilizada
RE	73,35	146,03	294,81	578,70	No utilizada
RE#	77,73	154,71	312,50	625	No utilizada
MI	82,23	164,48	332,45	651,04	No utilizada
FA	87,29	175,56	347,22	710,23	No utilizada
FA#	92,45	186,01	372,02	744,05	No utilizada
SOL	98,27	195,32	390,62	781,25	No utilizada
SOL#	103,48	208,34	411,18	822,37	No utilizada
LA	110,04	220,07	434,03	868,06	No utilizada
LA#	116,60	233,21	459,56	919,12	No utilizada
SI	123,03	248,02	488,28	976,56	No utilizada

Teclado

Este bloque tiene la misión fundamental de permitir el paso de las señales del generador de tonos hacia el módulo de efectos de onda. También activa el bloque de formato MIDI. Su extensión abarca cuatro octavas (29 teclas blancas y 20 teclas negras). Las teclas están fabricadas en plástico. La conmutación se realiza electrónicamente, lo cual permite pulsar varias teclas para obtener el sonido de varias notas a la vez. [2]

Efectos de Onda

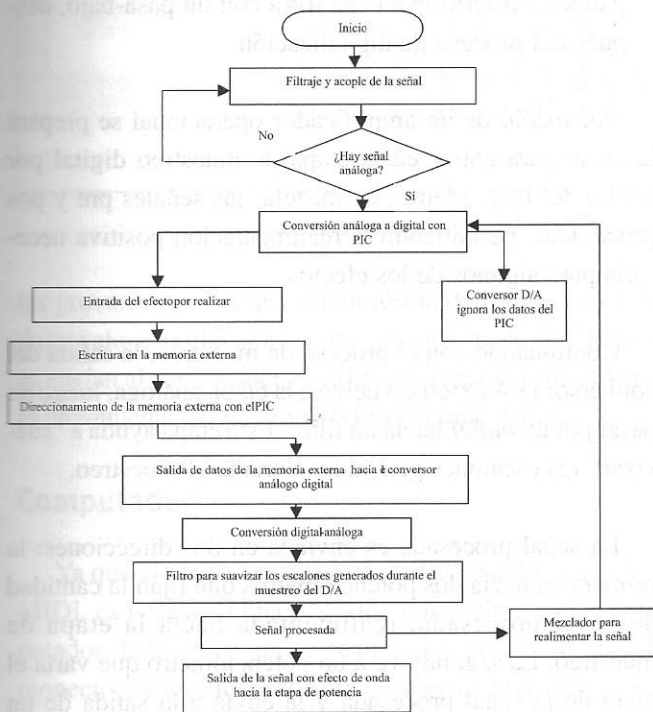


Figura 3. Diagrama de bloques del módulo de efectos.

La mayoría de los efectos musicales basados en retardos consisten en enviar la señal original por dos caminos. Uno la mantiene inalterada, mientras que el otro está sujeto a variaciones debidas a retardos y realimentaciones. La señal procesada es recombinada aunque no siempre, con la señal sin procesar para producir una señal de salida compuesta. [3]

Utilizando siete circuitos integrados en vez de una cantidad de transistores y operacionales, se logró obtener algunos efectos típicos de retardo.

- **Flanger - Phasing:** se basan en la mezcla de una señal y su versión invertida; luego se cancelan introduciendo un retardo en la mezcla de ambas señales. El resultado es una sensación de filtrado de algunas partes de la señal. Mediante la modulación del tiempo de retardo se consigue un efecto de desplazamiento que, al coincidir con los picos de las señales, produce un efecto característico. La diferencia entre el *flanger* y el *phaser* está en que el primero es un efecto más pronunciado, debido a que se emplean tiempos de retardo más prolongados en la mezcla.
- **Vibrato:** se logra aplicando el concepto de modulación a un retardo (delay). De esta manera se realiza una fluctuación periódica de la frecuencia de un sonido.
- **Chorus:** este efecto brinda la posibilidad de aumentar la profundidad de la señal tratada. Su funcionamiento se logra mezclando un *vibrato* y el sonido sin procesar. El resultado es similar al de un par de instrumentos que tocan al unísono, uno de los cuales desafina ligeramente.
- **Reverb:** la sensación sonora que produce es similar a la de un eco, pero más sutil, pues se obtienen reflexiones indirectas con menos repeticiones.
- **Echo:** se basa en la repetición temporal de la señal con parámetros de retardo y realimentación. El *echo* sólo permite crear efectos simples, controlando el retardo y el número de repeticiones.
- **Inversión del sonido:** este efecto se consigue decrementando un contador de lectura de muestras, cada vez que se incrementa un contador de almacenamiento. Una vez más la dirección de almacenamiento y re-llamada pasan periódicamente de la una a la otra, con la consiguiente pérdida de muestras.
- **Efectos pitch:** hace más agudo o grave el sonido.

Este módulo consta de dos etapas, las cuales se explican en las dos secciones siguientes.

Etapa digital

La señal proveniente del generador de tonos o de la salida de la tarjeta de sonido del computador es introducida en el conversor análogo-digital del PIC16F877. Esta señal se muestrea y la conversión digital es enviada por el puerto D a una memoria externa de 32k (ninguno de los actuales microcontroladores de la familia PIC tiene bas-

tante cantidad de memoria interna para permitir retardos suficientes en el módulo de efectos; por tanto, es preciso usar una memoria externa que permita conseguir retardos entre 0 y 9 segundos), que es direccionada también por el PIC (Puertos B y C). Las líneas de datos del puerto D también son usadas para controlar un conversor D/A TLC7524.

Durante el almacenamiento de los datos, la memoria es puesta en modo de entrada. Mientras esto sucede, el conversor digital/análogo TLC7524 se mantiene en modo de salida, e ignora los datos del puerto D del PIC en sus entradas.

Como finalización de cada ciclo de almacenamiento de datos, se incrementa un contador de escritura de memoria dentro del PIC y el puerto D se pone en modo de alta-impedancia. A continuación, el PIC selecciona un valor de contador de dirección de re-llamada de memoria y la ubica en las líneas de dirección de memoria. Ésta última entrega el dato almacenado en esa dirección. El puerto D del PIC no se ve afectado por los datos. El conversor D/A externo responde inmediatamente reteniendo los datos provenientes de la memoria y luego entrega el valor analógico correspondiente.

El contador de dirección de memoria de re-llamada es actualizado a una dirección que depende del efecto que se ejecute en el PIC; después de esto, el micro vuelve al modo de muestreo del sonido entregado por el conversor A/D. Este ciclo se repite.

El comportamiento del PIC se controla por medio de dos potenciómetros. Uno configura el retardo entre la muestra almacenada y la siguiente re-llamada y, a la vez, controla el porcentaje de retardo en la modulación cuando el modo lo requiere; sin embargo, no se usa durante la variación de la velocidad e inversión del sonido. El otro potenciómetro fija la profundidad de la modulación cuando se requiere. El PIC monitorea ambos potenciómetros en relación con el voltaje fijado en sus extremos, en el modo de entrada para el conversor A/D.

Etapa análoga

Esta etapa se encarga de controlar el nivel de la señal de entrada proveniente del generador de tonos o de la salie-

da de la tarjeta de sonido del PC, la salida hacia la entrada digital, la realimentación positiva hacia la etapa de retardo y la etapa final de mezcla de las señales antes de enviarlas al amplificador de audio.

El sonido entra en un mezclador y una etapa de ganancia (entre 0,1 y 10). De allí la señal se envía en dos direcciones.

- Una va hacia un conmutador que permite añadir la señal no procesada, o no (de acuerdo con el efecto que se desea), a otro mezclador y a otra unidad de ganancia uno.
- El otro camino prepara la señal de entrada para procesarla a través de la etapa digital. Las frecuencias más altas se desprecian, lo cual ayuda a compensar de modo parcial. Posteriormente se filtra con un pasa-bajo, después del proceso de digitalización.

Por medio de un amplificador operacional se prepara la señal para entrar en la etapa de muestreo digital por medio del PIC, además de mezclar las señales pre y pos procesadas, permitiendo la realimentación positiva necesaria para algunos de los efectos.

Continuando con el proceso de muestreo, la salida del conversor D/A externo vuelve a la etapa análoga, luego de pasar por un *buffer* hacia un filtro. Esta etapa ayuda a "suavizar" los escalones generados durante el muestreo.

La señal procesada es enviada en dos direcciones: la primera va hacia dos potenciómetros que fijan la cantidad de señal procesada, realimentada hacia la etapa de muestreo. La segunda va a un potenciómetro que varía el nivel de la señal procesada y la envía a la salida de un mezclador a través de un conmutador, el cual asegura que un mezclador final y la unidad de ganancia uno siempre reciban una señal, ya sea original o procesada. En esta parte se coloca un condensador que proporciona una cantidad final de altas frecuencias, limitadas para ayudar a alisar la forma de onda muestreada.

Módulo de Formato MIDI

Se desarrolla por medio de un decodificador de 3 a 8 que realiza un muestreo dinámico del teclado. Las 8 salidas del decodificador van al teclado y de allí son enviadas al microcontrolador PIC 16F84A, el cual interpreta las seña-

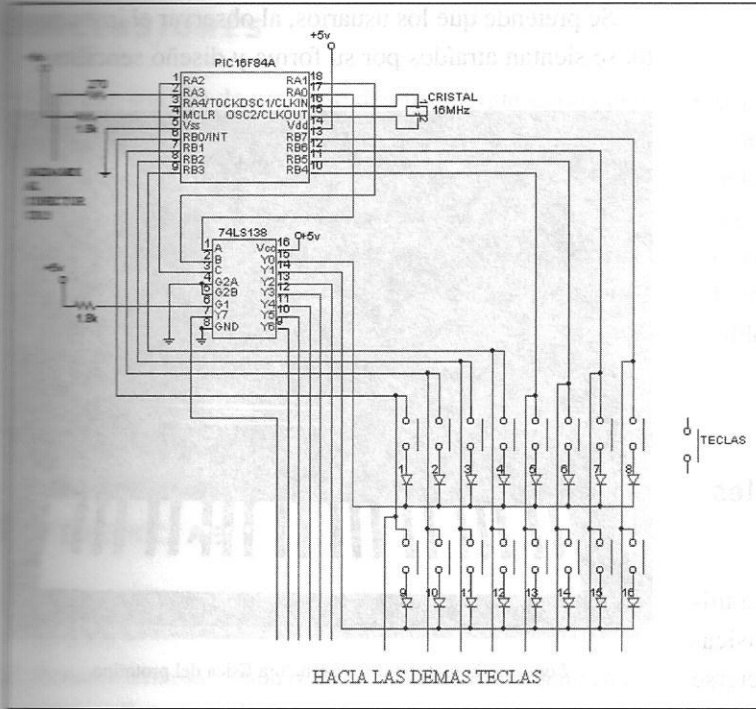


Figura 6. Circuito para formato MIDI.

les provenientes del teclado en forma de frecuencias y les da un valor específico (nota musical) en formato MIDI; luego se envían al computador. Este bloque funciona con el voltaje proveniente del puerto DB-15 del computador.

Computador

Ya que el microcontrolador entrega un dato de formato MIDI, es necesario una conexión compatible con el computador. Esta conexión se realiza por medio de un jack (conector) y un cable específico (interfaz MIDI) para este tipo de conectores.

El computador será el encargado de recibir e interpretar mediante un software especializado como FINALE, CAKEWALK, SONAR, entre otros, los datos en formato MIDI. El software permitirá hacer cualquier uso de los datos MIDI según las opciones que brinde cada programa; el principal fin que se busca con el software es brindar la posibilidad al usuario de editar, mezclar y observar los eventos musicales ejecutados por él. Además, el sonido MIDI que produce el computador y el software para tal fin, puede ser enviado por la salida de la tarjeta de audio para ser conectada directamente al módulo de efectos de onda.

Amplificación

Un amplificador es un circuito con una ganancia de voltaje o corriente. Recibe las señales provenientes del módulo de efectos de onda y proporciona una versión más grande de la señal, para algún dispositivo de salida u otro amplificador.

Las principales características de un circuito amplificador de audio son la eficiencia de potencia, la cantidad máxima de potencia que es capaz de entregar y el acoplamiento de impedancias con el dispositivo de salida. El circuito integrado que se utilizará es un amplificador clase B, capaz de entregar entre 16 y 20 vatios por 2 salidas (cada una), u 11 vatios por 4 salidas. [1]

La potencia de salida (AC) entregada a la carga referida con una R_L , se calcula de la siguiente forma [5]:

- Voltaje de alimentación: 12 V
- Voltaje de salida: 11,987 Vp
- Resistencia de carga: 4 Ω

Una señal pico de 5,3 V a través de una carga de 4 Ω ofrece una corriente de carga pico de:

$$I_L(p) = V_L(p)/R_L$$

$$I_L(p) = 11,987/4$$

$$I_L(p) = 2,996 \text{ A}$$

El valor del consumo de corriente de la fuente de alimentación es:

$$I_{dc} = (2/\pi) * I_L(p)$$

$$I_{dc} = (2/\pi) * 2,996$$

$$I_{dc} = 1,907 \text{ A}$$

La potencia de entrada proporcionada por el voltaje de alimentación es:

$$P_i(dc) = V_{cc} * I_{dc}$$

$$P_i(dc) = 12 * 1,907$$

$$P_i(dc) = 22,88 \text{ W}$$

La potencia de salida entregada a la carga es:

$$P_o(ac) = V_L^2(p) / (2 * R_L)$$

$$P_o(ac) = 5,3^2 / 2 * 4$$

$$P_o(ac) = 17,961 \text{ W}$$

Para una eficiencia resultante de:

$$\% \eta = P_o(ac) / P_i(dc) * 100\%$$

$$\% \eta = 17,961 / 22,88 * 100\%$$

$$\% \eta = 78,5 \%$$

Interfaz Digital de Instrumentos Musicales (MIDI) [4]

La interfaz digital de instrumentos musicales se utiliza para la comunicación entre instrumentos musicales. Se compone de dos aspectos, que han de respetarse obligatoriamente:

- **Los conectores:** en todos los casos serán de tipo DIN de cinco conductores; aunque MIDI sólo hace uso de tres.
- **La disposición de la estructura de los mensajes:** los datos han de ser enviados en "secuencias" y por medio de canales.

MIDI no produce sonidos propios ni graba datos auditivos por el sistema digital, sino que contiene instrucciones para que los dispositivos a los que controla produzcan los sonidos, u otras reacciones, sin necesidad de "tocarlos" físicamente.

Estructura física

La estructura física del prototipo de teclado musical se diseñó en madera de varios tipos: estructural pizano para la base, cedro para los laterales, frente y tapa, y chapilla para la parte posterior. Para la elección del material se tuvo en cuenta aspectos como funcionalidad, precio, resistencia, estética y acústica; este último aspecto es importante para lograr una buena calidad de sonido.

Las teclas tendrán la medida estándar de los teclados comerciales (teclas blancas: 14 cm de largo por 2 de ancho; teclas negras: 9 cm de largo por 1cm de ancho).

Se pretende que los usuarios, al observar el instrumento, se sientan atraídos por su forma y diseño sencillos.



Figura 7. Fotografía de la estructura física del prototipo.

RESULTADOS

- En cuanto a los efectos de onda, se obtuvo una amplia gama, logrando sintetizar las etapas típicas de realización de este bloque mediante un microcontrolador y una memoria externa como dispositivos principales.
- Para verificar las frecuencias obtenidas del generador de tonos, se realizaron mediciones con osciloscopio. Se observó que estaban suficientemente cercanas a las frecuencias estándar de cada nota musical.
- En el módulo de efectos de onda se midieron los retardos con un osciloscopio, teniendo en cuenta la forma de onda de la señal de entrada y la de salida para compararlas y ajustar cada efecto.
- En la implementación del módulo de efectos de onda y en el amplificador se presentaron dificultades con el nivel de ruido a la salida y el ajuste de los efectos, lo cual se solucionó mediante un adecuado acople de la señal.
- La presentación física del instrumento musical, debido a su diseño, similar al de un piano de cola clásico, seguramente tendrá gran acogida por los usuarios.

CONCLUSIONES

- Con este trabajo de grado se demuestra que el proceso de enseñanza en niños, o en usuarios que quieren aprender a tocar un instrumento musical como este, se facilita para el maestro y para el alumno.
- Se logró dar una solución eficaz respecto al costo, maniobrabilidad y conformidad del usuario con el instrumento, simplificando funciones que son comúnmente de difícil manejo y subutilizadas.

- Una gran ventaja de este instrumento es que podrá funcionar como controlador MIDI por medio de un computador, sin necesidad de fuente de alimentación externa, y como módulo de efectos.
- Con el diseño de la estructura física del prototipo, se logra facilitar la realización del mantenimiento y las posibles modificaciones requeridas o deseadas.

REFERENCIAS

- [1] Phillips. www.phillips.com Audio Datasheets. 7 de julio de 2003.
- [2] Donate Hermosa, Antonio. 1981. *El moderno órgano electrónico*. Barcelona: Boixareu Editores.
- [3] Costa Bermúdez, Juan. 1977. *Nueva generación de instrumentos musicales electrónicos*. Barcelona: Boixareu Editores.
- [4] Miles, Huber David. 1995. *El manual de MIDI*. España: Addison Wesley.
- [5] Boylestad, Robert L. 1997. *Electrónica: teoría de circuitos*. México: Prentice Hall Hispanoamericana.
- [6] Yamaha Corporation. 2001. *Musical Instruments And Professional Audio Equipment*. Japan.
- [7] Yamaha Corporation. 2002. *Catálogo 2001-2002*. Japan.