
GENERADOR DE SEÑALES

Daniel Ulloa
Departamento de Electrónica
UNPSJB
Comodoro Rivadavia, 9000
ulloa@ieee.org

28 de junio de 2021

ABSTRACT

Desarrollo y fabricación de un Generador de Señales de dos Canales utilizando módulos AD9833 y Arduino Uno. El instrumento puede ser programado utilizando el protocolo SCPI-1993 en formato de texto plano a través del puerto serie emulado por el conversor USB-TTL del Arduino Uno. Se logró el ajuste de offset y ganancia con amplificadores operacionales, utilizando un circuito integrado MAX232 para generar la tensión simétrica a partir de los 5V del puerto USB.

1. Objetivos

La cátedra de Instrumentos y Mediciones 2 planteó el desarrollo de un instrumento digital que sea capaz de:

- Generar dos señales
- Forma de onda seleccionable
- Control de nivel DC offset a la salida
- Control externo de la frecuencia
- Control externo de la amplitud de salida

Se debe utilizar un Arduino Uno y módulos AD9833.

2. Decisiones de Diseño

Para cumplir con los primeros dos objetivos el uso del módulo AD9833 permite una frecuencia de salida de 0 a 12.5MHz y tres formas de onda seleccionables mediante configuración de registros internos.

Respecto al control de offset y amplitud se analizó la posibilidad de utilizar un potenciómetro digital X9C10x que requiere de una tensión simétrica de $\pm 5V$. Para generar esta tensión sólo se encontró el circuito integrado ICL7660 pero no disponible localmente. La desventaja de utilizar un potenciómetro digital es que sólo se podría atenuar la frecuencia y la señal estaría limitada a $\pm 5V$. Si se utilizará como resistencia de realimentación en un amplificador operacional en configuración no inversor se vería afectada su función de transferencia ya que el modelo de pequeña señal está compuesto por capacitancias parásitas y la excursión también seguiría limitada a $\pm 5V$.

Para alimentar el amplificador operacional sería posible utilizar un circuito integrado MAX232, 2 capacitores de bootstrap y 2 capacitores de filtrado para que genere una tensión simétrica de $\pm 8V$ a partir de los 5V disponibles.

Respecto al control de offset, el módulo AD9833 tiene un offset siempre positivo y es por esto que, se analiza la posibilidad de utilizar una señal PWM filtrada para tener un valor de continua y un amplificador operacional en configuración restador lo que permitiría desplazar a valores negativos la señal. Una alternativa sería el uso de un módulo DAC ya que la señal PWM filtrada contiene una componente fundamental de 490Hz.

Para el control de ganancia una configuración no inversor era la única opción ya que el mayor número de amplificadores operacionales en un circuito integrado es de 4 unidades, quedando dos disponibles para esta operación. Una configuración inversor seguido de otro inversor de ganancia unitaria permitiría atenuación y ganancia. Para ajustar la realimentación se estudia la posibilidad de utilizar un Optoaislador Resistivo fabricado utilizando un LDR de 5mm y un LED Verde de 5mm, que podría ser controlado con otro puerto PWM del microcontrolador.

Para el control externo de la amplitud de salida de forma tal de obtener una señal modulada, no se encontró una solución.

Adicionalmente se propone la implementación del protocolo SCPI-1993 que permite automatizar un banco de instrumentos, siendo posible el ajuste de parámetros mediante software.

3. Esquema

El siguiente esquema representa una posible implementación que permite el control de la ganancia y offset. Se utilizaría un lazo de realimentación con un circuito muestreador que permita realizar la medición de amplitud.

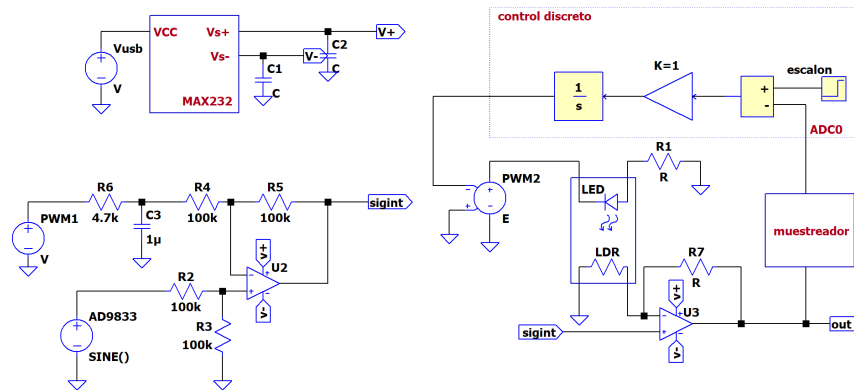


Figura 1: Primer esquema planteado, requiere de controlador discreto implementado en el microcontrolador

El problema de esta implementación es que requiere de un circuito tal que detecte la envolvente para un amplio rango de frecuencias.

Realizando un ensayo del LDR, que consistía de un divisor resistivo conectado a un puerto ADC del microcontrolador y un LED verde frente al LDR con una señal PWM de 8 bits, se encontró que era posible utilizarlo en una región lineal dependiente de un rango de valores PWM.

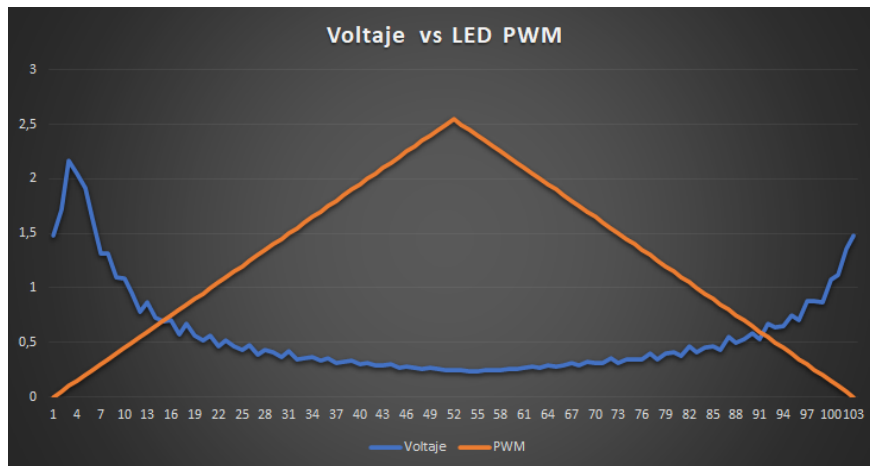


Figura 2: Barrido del ancho de pulso de la señal PWM para obtener la característica del LDR

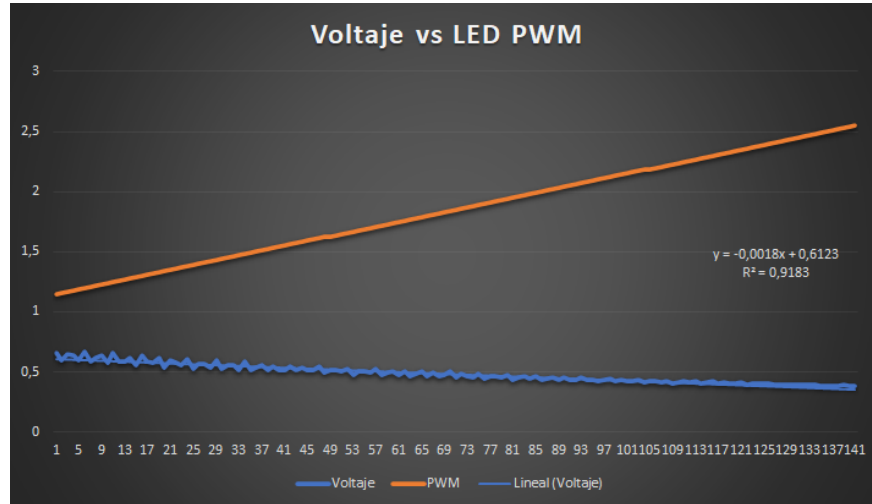


Figura 3: Limitando el rango a valores entre 115 y 255 se obtiene una recta, se verifica mediante una regresión lineal que el coeficiente R es de 0.918

En base a los resultados del ensayo se limitó el ancho de pulso que sería controlado por el software para ajustar la ganancia de la señal de salida. El esquema final no implementa el lazo de realimentación.

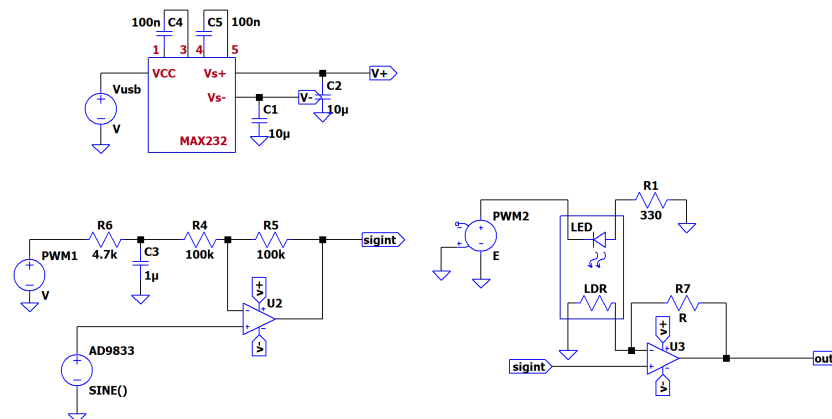


Figura 4: Esquema final, utiliza al LDR en su región lineal lo que permite obviar el esquema de control para el elemento no lineal

4. Etapa de Prototipo

Primero era necesario verificar el funcionamiento de la fuente implementada con MAX232 y si la corriente era suficiente para alimentar un amplificador operacional cuádruple. Se disponía de un amplificador operacional OPA4277 y un OPA4228, a continuación sus características y motivos de elección.

IC	OPA4228	OPA4277
GBW	8MHz	1MHz
SR	2.3V/us	0.8V/us
THD	0.00005 %	0.002 %
PSRR	126dB	130dB
Offset	±75uV	±10uV
Input Bias	10nA	1nA

La tensión de alimentación provista por el MAX232 contiene ruido de alta frecuencia y es por esto que se eligió el OPA4277 aunque sus características de alta frecuencia limitan la frecuencia máxima de operación. En teoría sería necesario el uso de un amplificador operacional con un producto ganancia superior a 100MHz para tener una tensión de salida de 5Vpp y un Slew Rate superior a 390V/us. Si se limita la frecuencia máxima para la onda cuadrada a 20kHz el SR debe ser superior a 0.628V/us, por lo tanto el OPA4277 cumple. En el caso de querer mejorar la frecuencia máxima conservando el formato DIP de 14 pines, un amplificador operacional con las características mencionadas podría ser LT1230CN u OPA4658P, pero no se encuentran disponibles en nuestro país y sería necesaria su importación mediante un distribuidor internacional.

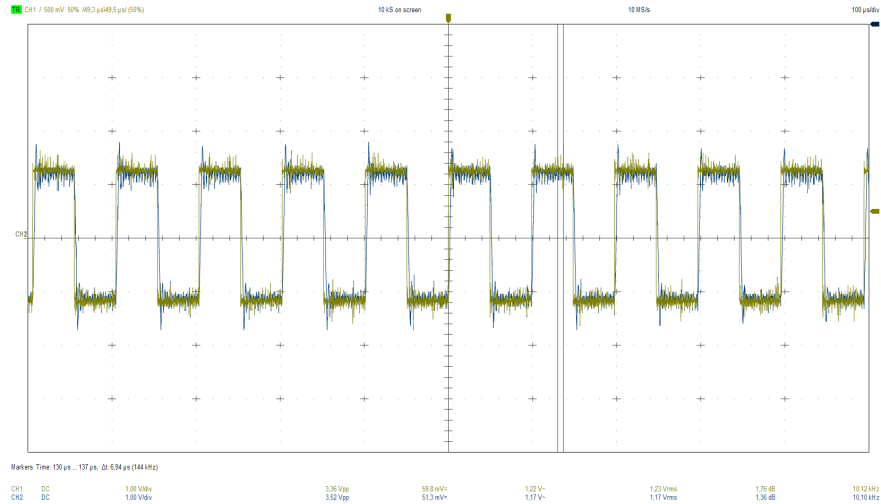


Figura 5: Implementación en protoboard. Se observa un ruido de alta frecuencia del generador de funciones utilizado para el ensayo.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y se decidió implementar el circuito en un ProtoShield para Arduino, que dispone de un área limitada para soldar los componentes de todo el circuito, pero con las técnicas adecuadas y disposición de los componentes sería posible minimizar el ruido. Al momento de probar la placa se encontró que el circuito integrado MAX232 era defectuoso lo cual aumentaba el ruido así como también una reducción en su voltaje simétrico, de aproximadamente 3V. Con un nuevo circuito integrado se obtuvo una tensión simétrica de $\pm 8.8V$

5. Mediciones

Se realizaron mediciones con un osciloscopio Hantek 6022BE de dos canales y un ancho de banda de 20MHz.

Se encontró que la frecuencia máxima para una onda cuadrada fue de 20kHz a pesar de que la señal comenzaba a ser trapezoidal, pero cumpliendo con el objetivo en función al slewrate del amplificador operacional.

En el caso de la señal senoidal se observó que a partir de 165kHz se producía un desfase en la señal de salida, probablemente por la presencia de un polo en el sistema. No se realizaron pruebas con el amplificador operacional OPA4228 porque se cometió el error de no utilizar un zócalo en la placa que permitiese el cambio. Se llevaron a cabo otras mediciones que quedaron plasmadas en el manual de usuario en la sección de características.

5.1. Firmware

La programación de la placa Arduino Uno se realizó en el lenguaje C bajo el IDE Visual Studio Code porque mejora la navegabilidad del código y facilidad en la escritura ya que implementa autocompletado. Respecto a las bibliotecas utilizadas, para la implementación del protocolo SCPI se utilizó una biblioteca desarrollada por Lachlan Gunn en el año 2013 que debió ser modificada para ser compatible con la versión de Arduino 1.8.15. Para el control de los módulos AD9833 se utilizó la biblioteca Majic Designs AD9833 por su desarrollo activo.

El código consta de unas 700 líneas, en su mayoría destinadas a la sintaxis de los comandos del protocolo SCPI. El lazo principal espera la ocurrencia de un evento del puerto serie, si se trata de un comando válido se ejecuta una acción. Por ejemplo al recibir el comando :AWG1:FREQ 10e3 se ajusta la frecuencia del módulo mediante las funciones previstas

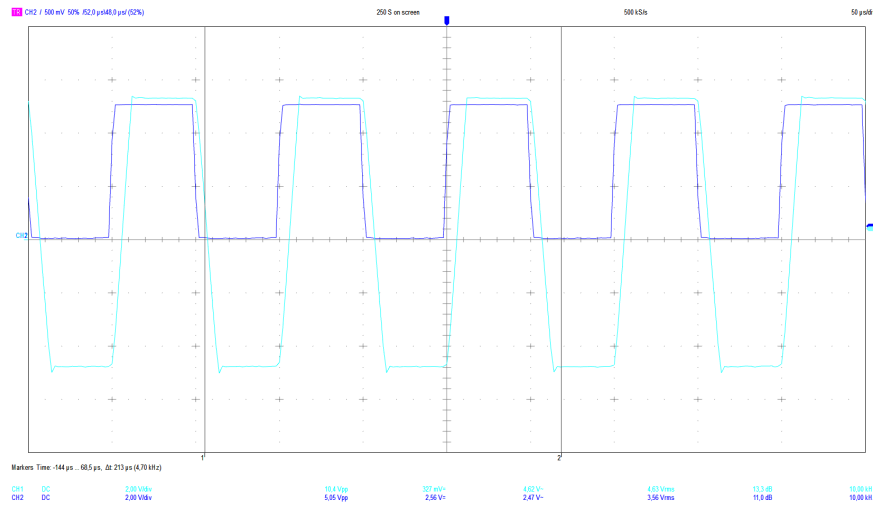


Figura 6: La señal previa a las etapas de ganancia y offset tiene una amplitud de 5Vpp y 2.5V de offset. Se observa el efecto del slewrate.

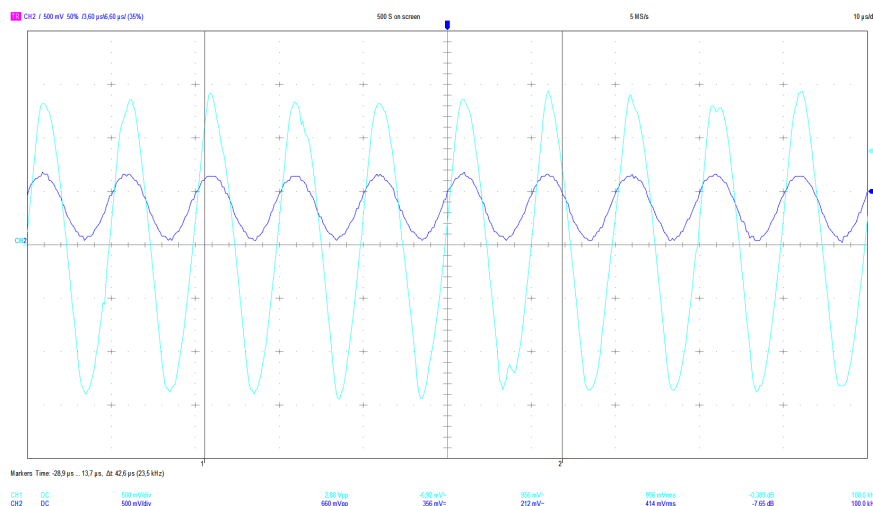


Figura 7: Realizando ajustes en la frecuencia para encontrar la frecuencia máxima de operación de la etapa analógica.

por la biblioteca del AD9833. Para realizar la implementación del barrido de frecuencia es necesario entrar en un lazo infinito y para romperlo se recurre a una interrupción para volver al lazo principal ante la recepción de un comando.

Se decidió no utilizar unidades de voltaje para el offset y ganancia ya que de esta manera se pueden realizar calibraciones mediante tablas por software. Otro de los motivos es porque al utilizar un LDR como elemento de realimentación no se tiene una respuesta lineal lo cual dificulta la elección de las resistencias para el amplificador operacional. Sería necesario un proceso de apareamiento de los LDR y LED para lograr que ambos canales respeten el rango deseado para un mismo ancho de pulso PWM. Al momento de conectar el instrumento al puerto USB sus salidas se activan generando una señal de 1kHz en cuadratura, teniendo una fuente de referencia sin la necesidad de ejecutar software para su configuración.

En el manual de usuario se provee la lista de comandos implementados así como también el uso de un script de Python para realizar la ejecución de una serie de comandos, de esta manera se demuestra que es posible realizar una prueba automatizada de un circuito bajo estudio con el instrumento desarrollado.

6. Interfaz gráfica

Se desarrolló en Processing P5 una interfaz gráfica para comandar el instrumento, haber implementado el protocolo SCPI redujo la complejidad del código ya que sólo se necesita iniciar la comunicación serial con el instrumento y ante eventos en los elementos gráficos de la interfaz enviar los comandos por el puerto serie.

Para los elementos gráficos se utilizó la biblioteca ControlP5 y para la comunicación serie Processing Serial. Se eligió un formato de dos paneles para identificar rápidamente cada canal, un conjunto de perillas permite el ajuste del offset y la amplitud. Mediante deslizadores se puede ajustar la frecuencia y la fase. Para realizar barridos existe una sección del panel destinada a este fin, donde se puede ajustar los parámetros de frecuencia de inicio, frecuencia final, tiempo de barrido.

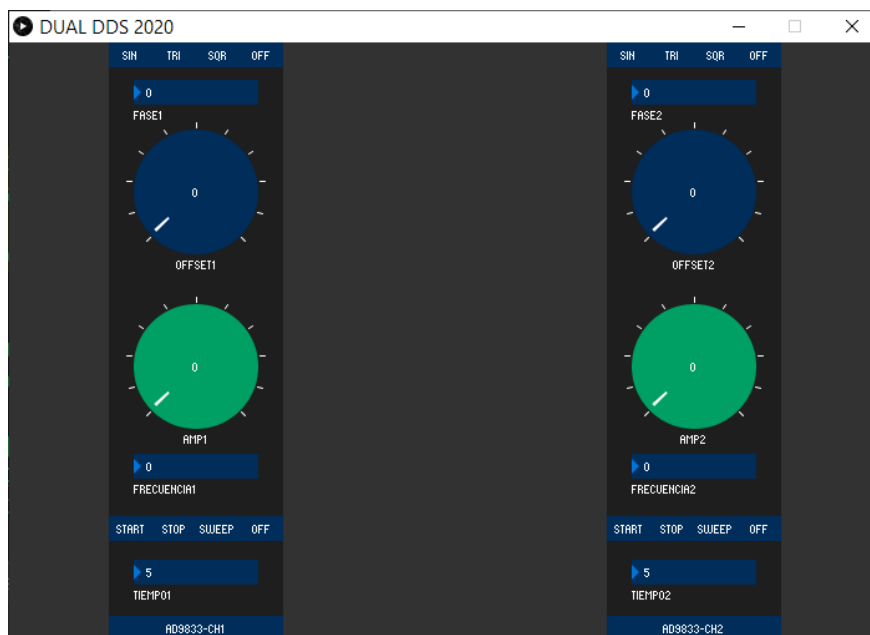


Figura 8: Interfaz gráfica desarrollada en Processing P5

7. Mejoras

Respecto al hardware sería recomendable el uso de otro amplificador operacional que permita extender la frecuencia de operación. Si se quitara la restricción de ser un dispositivo portátil que no requiere de fuente externa, se podría diseñar una fuente de alimentación simétrica y así poder extender la excursión. También se podría agregar una etapa TTL que permita generar una señal cuadrada que no se vea afectada por el slewrates del amplificador operacional elegido, para esto queda una sección en la placa donde sería necesario el uso de tecnología SMD. Se podría utilizar un buffer Schmitt Trigger, conectado en paralelo a la salida del módulo AD9833 y obtener una señal cuadrada de hasta 12.5MHz, que también podría ser utilizada como fuente de trigger para un osciloscopio.

Respecto al firmware se podría implementar un barrido logarítmico. También se podría agregar una entrada de sincronismo que podría ser utilizada para disparar una interrupción y ajustar algún parámetro del módulo, pero se debería estudiar la forma de proteger al microcontrolador ya que estaría vulnerable a ESD, lo mismo si se agregara una entrada para realizar un barrido externo manual, sería necesaria proteger la entrada del ADC del microcontrolador. Si se implementaran nuevos comandos SCPI para poder configurar el segundo registro de los módulos AD9833 se podría realizar modulación FSK y PSK, ya que se puede almacenar otro valor de frecuencia y fase para cada módulo.

8. Conclusión

Se logró implementar un generador de funciones de dos canales, forma de onda programable con offset y ganancia ajustable, que a través del protocolo SCPI-1993 se pueden configurar. El instrumento no requiere de drivers y es independiente del sistema operativo utilizado.

Se optimizó el uso de pines del microcontrolador, conectando dos módulos AD9833 al mismo puerto SPI y los pines de Chip Select independientes, resultando en un total de 4 pines para la comunicación SPI. Se utilizó salidas PWM en vez de conversores DA que aumentarían los costos del dispositivo. Se implementó una fuente de alimentación simétrica con un circuito integrado de bajo costo y no fue necesaria la utilización de una provisión de energía externa.

La implementación del protocolo SCPI permite continuar estudiando los bancos de instrumentos automatizados ya que nuestra universidad no cuenta con las interfaces necesarias para conectar los instrumentos que poseen el puerto GPIB del estándar IEEE-482.