

Desarrollo de software para la automatización de pruebas en la caracterización de fotodiodos de conmutación rápida

Daniel Omar Baez-Nuñez^{a*}, Iván Olaf Hernández-Fuentes^b, Carlos Villa-Angulo^a, Ricardo Morales-Carbajal^a.

^a Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez S/N, CP. 21280, Mexicali B.C., baezd@uabc.edu.mx, villac@uabc.edu.mx, ricardo.morales@uabc.edu.mx, Mexicali, Baja California, México.

^b Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez S/N, CP. 21280, Mexicali B.C., olaf@uabc.edu.mx, Mexicali, Baja California, México.

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de un software de automatización de mediciones para la caracterización de fotodiodos para circuitos de conmutación rápida. El circuito consiste en la conexión en serie de una fuente de corriente directa V_{bias} , una señal analógica V_{in} a conmutar, un fotodiodo y un resistor de carga R_L . El fotodiodo es polarizado por V_{bias} al cual se le superpone V_{in} . La primera prueba consiste en obtener la curva I-V con haz de luz constante para determinar los límites de la región lineal y saturación. A la curva I-V se le aplica una aproximación lineal para obtener el punto de operación y excursión de la señal analógica y en base a ese punto se realizan siguiente las pruebas: Respuesta en frecuencia donde se encuentra la frecuencia máxima de la señal analógica a muestrear. Respuesta transitoria para obtener los tiempos de subida y de bajada de la respuesta del fotodiodo al aplicarle pulsos ópticos. Muestreo para comprobar que el circuito de conmutación sea capaz de muestrear una señal analógica senoidal. El software se desarrolló en App Designer de Matlab, y permite configurar los parámetros de las pruebas por medio de una interfaz gráfica para elaborar una gran cantidad de mediciones en cuestión de minutos (13 mediciones en 10 min.) en lugar de realizar las mediciones de manera manual que podrían llevarse horas o hasta días de trabajo.

Palabras clave— Automatización, fotodiodo, Interfaz, Software

Abstract

This paper presents the development of a measurement automation software to characterize of photodiodes for fast-switching circuits. The circuit consists of the series connection of a direct current source V_{bias} , an analog signal V_{in} to be switched, a photodiode and a load resistor R_L . The photodiode is biased by V_{bias} to which V_{in} is superimposed. The first test consists of obtaining the I-V curve with a constant light beam to determine the limits of the linear and saturation region. A linear approximation is applied to the I-V curve to obtain the operating point and excursion of the analog signal, and based on that point, the following tests are performed: Frequency response, where the maximum frequency of the analog signal to be sampled is found.

Transient response to obtain the rise and fall times of the photodiode response when optical pulses are applied. Sampling to check that the switching circuit can sample a sinusoidal analog signal. The software was developed in Matlab App Designer and allows configuring test parameters through a graphical interface to elaborate many measurements in a matter of minutes (15 measurements in 10 min.) instead of performing the measurements manually, which could take hours or even days of work.

Keywords— Automation, photodiodes, interface, Software.

1. INTRODUCCIÓN

Los circuitos de conmutación de alta velocidad son una parte esencial en un gran número de aplicaciones tales como las comunicaciones satelitales, conmutadores de señales de radio frecuencia electrónicos y circuitos muestreadores para convertidores analógico-digitales. Estos circuitos de conmutación son tradicionalmente encapsulados en circuitos Integrados o circuitos impresos electrónicos interconectados con circuitos osciladores electrónicos. Este tipo de encapsulamiento limita la capacidad de desempeño de los circuitos de conmutación debido a las capacitancias parasitas existentes en los circuitos que lo conforma incluyendo los osciladores electrónicos. Una alternativa actualmente en exploración para minimizar los efectos antes mencionados es utilizar osciladores no electrónicos [1] [2]; por ejemplo, osciladores ópticos para activar el circuito de conmutación electrónico.

Varios trabajos utilizan fotodiodos para circuitos de conmutación rápida activados ópticamente [3] [4], donde se utilizan cuantificadores electrónicos, circuitos de conmutación con fotodiodos para la etapa de muestreo y demultiplexación de un convertidor analógico a digital (ADC) optoelectrónico.

Hay trabajos donde la activación es óptica por medio de un láser pulsado que activa los fotodiodos; pero la señal analógica muestreada es eléctrica [3] [4] [5] [6], es decir, no se necesita que la señal muestreada pase al dominio óptico y de vuelta al dominio eléctrico, además, la señal de salida de su circuito de conmutación es analógica, lo que equivale a que la salida sea proporcional a la entrada en esa región y por tanto activaron los fotodiodos en una región lineal, sin explicar el método para lograrlo, dando a entender que fue realizado a prueba y error.

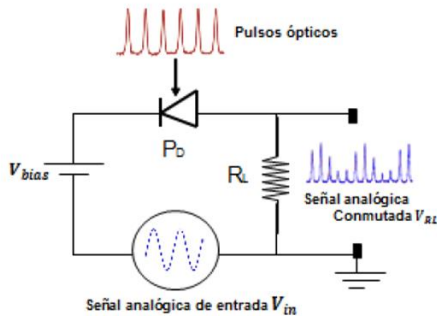
Este trabajo desarrolló un software con interfaz de usuario gráfica programado en Matlab para controlar y sincronizar la comunicación y transferencia datos de forma automatizada en los procesos de caracterización de fotodiodos de conmutación rápida donde la activación de los circuitos es controlada por un haz de luz. El software es capaz de activar, sincronizar y comunicar automáticamente un láser y diferentes instrumentos de medición para obtener de un fotodiodo de conmutación rápida; la curva característica I-V con luz

constante, punto de operación lineal, respuesta transitoria y mediciones en tiempo real de muestreo de señales analógicas por activación con luz pulsada en el fotodiodo.

2. MATERIALES Y METODOS

En Fig. 1 se observa el muestreador básico optoelectrónico conectado con la señal analógica a convertir, la finalidad de este circuito es conmutar una señal analógica de voltaje; es decir permitir el paso o no de dicha señal hacia la salida del circuito. La conmutación es controlada por medio de luz aplicada al circuito, esta luz puede ser continua o pulsos de luz. Este circuito consiste en la conexión en serie de una fuente de corriente directa V_{bias} , una señal analógica V_{in} a conmutar, un fotodiodo de alta velocidad de conmutación y un resistor de carga R_L . El fotodiodo es polarizado por V_{bias} al cual se le superpone la señal analógica V_{in} de entrada.

Fig. 1. Circuito de conmutación rápida con activación óptica



Fuente: Imagen obtenida de [1]

2.1 CURVA I-V CON HAZ CONSTANTE

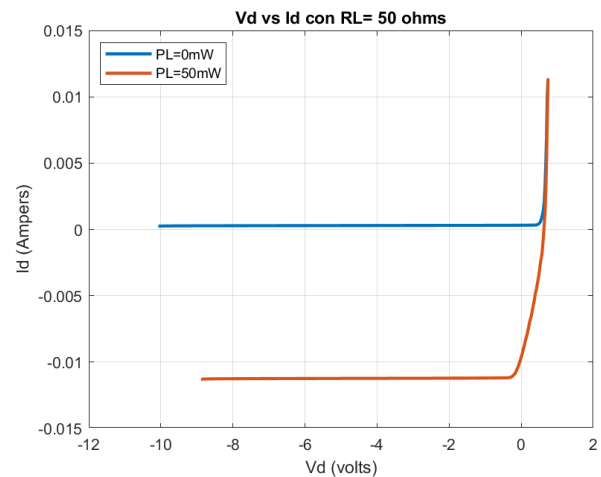
Debido al comportamiento de los fotodiodos sabemos que trabajan en dos regiones. Región lineal, donde la señal conmutada puede variar como una señal analógica, en la cual la salida es proporcional a la entrada. Región de saturación, la cual se comporta como una señal digital (on/off). Es importante obtener las curvas de caracterización porque con ellas podemos determinar el punto de operación de los fotodiodos ya que se desea utilizar un circuito de conmutación para el muestreo de señales analógicas, además las curvas nos ayudarán a identificar las diferentes regiones y así se encontrarán los límites de dichas regiones.

Para obtener la curva con haz constante se debe graficar el voltaje de polarización del fotodiodo (V_{bias}) contra el voltaje en la resistencia (V_{RL}). Para lograr obtener estas mediciones se necesita incrementar V_{bias} de un valor inicial a un valor final y medir simultáneamente a V_{bias} y V_{RL} . El láser es configurado para que genere un haz óptico constante a una potencia óptica determinada. Los datos medidos se envían a una computadora para luego procesarlos mediante un programa de Matlab. Con este programa se obtienen 2 gráficas: una gráfica que es la curva característica I-V del fotodiodo en dos versiones, sin luz

aplicada y con haz constante de luz (Fig. 2), y la segunda gráfica es V_{RL} contra V_{bias} , sin luz y con luz aplicada (Fig. 3).

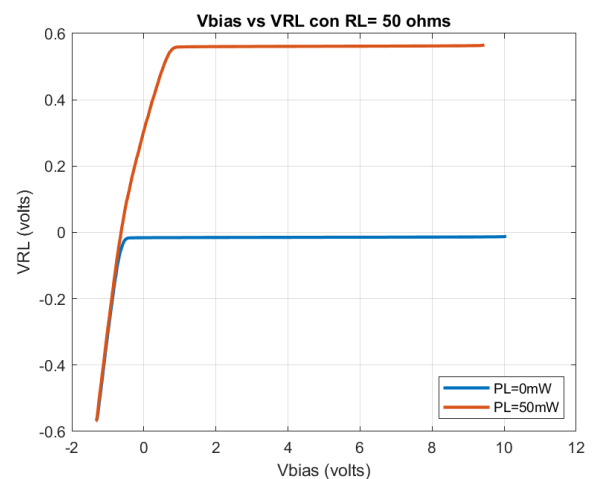
El programa en Matlab, conociendo el valor de la resistencia, calcula la corriente para cada valor de voltaje registrado en la resistencia (I_D). Esta corriente en la resistencia es la de la malla donde se encuentra el fotodiodo, por lo tanto, será la corriente en el diodo para cada valor de voltaje. Posteriormente se le resta a cada valor de V_{bias} (polarización) el valor registrado en la resistencia (V_{RL}) para saber cuál es el valor de voltaje en fotodiodo (I_D). Finalmente se grafica I_D contra V_D como se muestra en la Fig. 3.

Fig. 2. Ejemplo de curva característica I-V de un fotodiodo de conmutación rápida, sin luz aplicada y con luz constante



Fuente: Elaboración propia

Fig. 3. Ejemplo de curva V_{RL} vs V_{bias} , sin luz aplicada y con luz constante (región lineal y de saturación).



Fuente: Elaboración propia

2.2 PUNTO DE OPERACIÓN

En el trabajo [7] se explica una metodología para activar el circuito de conmutación con fotodiodo tipo PIN para que trabaje en una región lineal [7], en este trabajo se derivan un conjunto de ecuaciones para determinar un punto de operación en el cuarto cuadrante de la curva I-V del fotodiodo, y se compararon las mediciones de varios rangos lineales con los resultados teóricos obtenidos utilizando aproximación lineal y simulaciones numéricas.

En base a la gráfica V_{RL} vs V_{bias} medida se propone un punto de operación V_{biaso} en la región lineal, luego se usa un método desarrollado en [7] para calcular el valor del rango lineal, es decir, la máxima amplitud pico-pico V_{pp} que puede tener la señal analógica V_{in} para permanecer en la región lineal. Además, se pueden probar distintos valores de puntos de operaciones V_{biaso} para calcular sus rangos V_{pp} lineales correspondientes y con este escoger el valor óptimo del punto de operación.

2.3 RESPUESTA EN FRECUENCIA

La respuesta en frecuencia se refiere a la variación de la ganancia de amplitud de un circuito conforme aumenta la frecuencia de la señal de entrada, en general todos los circuitos tienen una ganancia bastante constante dentro de un cierto intervalo de frecuencias, pero presentan disminución de la ganancia a medida que la frecuencia aumenta. Cabe mencionar que la frecuencia mencionada en esta sección es la de la señal analógica V_{in} no la frecuencia de los pulsos ópticos.

El análisis de la respuesta en frecuencia se realiza aplicando un haz constante de luz a una potencia determinada y polarizando el fotodiodo con una señal de entrada V_{in} senoidal, la cual tendrá un offset igual al punto de operación V_{biaso} y una amplitud pico a pico igual al rango lineal V_{pp} , ambos obtenidos como se explica en la sección 2.2. Debido a que se está polarizando con una señal senoidal y un haz constante, la respuesta del fotodiodo será también una señal senoidal, por lo tanto, se mide el voltaje pico-pico tanto de la señal de entrada V_{in} como la de salida V_{RL} para distintas frecuencias, se incrementa de manera logarítmica cada valor de frecuencia de un punto inicial a un punto final y procesan las mediciones para obtener una gráfica de la ganancia con respecto a la frecuencia, de la cual se puede obtener la frecuencia de corte.

2.4 RESPUESTA TRANSITORIA

En esta prueba se aplica un voltaje de polarización constante igual a V_{biaso} obtenido previamente, se aplican un tren de pulsos ópticos a una potencia pico correspondiente a la potencia óptica aplicada en la prueba donde se obtuvo V_{biaso} y se miden la respuesta V_{RL} con respecto al tiempo a distintos valores de frecuencia repetición y ciclo de trabajo de los

pulsos ópticos. A partir de estas mediciones se obtienen los tiempos de subida y baja de la respuesta del fotodiodo, así como el ciclo de trabajo generado por la respuesta, estos tiempos definirán si un fotodiodo sea viable para usar en el circuito conmutador, además los tiempos de subida y baja pueden provocar que el ancho del pulso de la respuesta del fotodiodo sea muy diferente al ancho del pulso óptico. Es por ese motivo que se debe analizar la respuesta transitoria de los diferentes fotodiodos y así poder encontrar los límites de cada uno de ellos.

La respuesta más rápida se obtiene cuando no se conecta ningún resistor en serie con el circuito y en su lugar se utiliza solo la carga interna generada por el canal del instrumento de medición en este caso es 50Ω , cuando se desee ver el efecto de un valor diferente de resistencia, se debe conectar la resistencia en serie y también se debe tomar en cuenta la carga generada por el canal del instrumento de medición.

2.5 MUESTREO

En el procesamiento de señales, el muestreo es la conversión de una señal de tiempo continuo a una señal de tiempo discreto, un ejemplo común es la conversión de una onda de sonido (una señal continua) en una secuencia de muestras (una señal de tiempo discreto). Una muestra es un valor o conjunto de valores en un punto en el tiempo y / o espacio. Un muestreador es un subsistema u operación que extrae muestras de una señal continua.

El análisis del muestreo se realiza polarizando el fotodiodo con una señal de entrada V_{in} senoidal, la cual tendrá un offset igual al punto de operación V_{biaso} , una amplitud pico a pico igual al rango lineal V_{pp} y se aplica un tren de pulsos ópticos con una potencia pico correspondiente a las pruebas ya mencionadas en las secciones anteriores, de tal forma que se mide y se gráfica la respuesta V_{RL} , la cual será una señal pulsada donde el valor pico de cada pulso de V_{RL} corresponde a un muestra de la señal analógica V_{in} en un determinado momento de tiempo y el periodo de los pulsos ópticos es el periodo de muestreo.

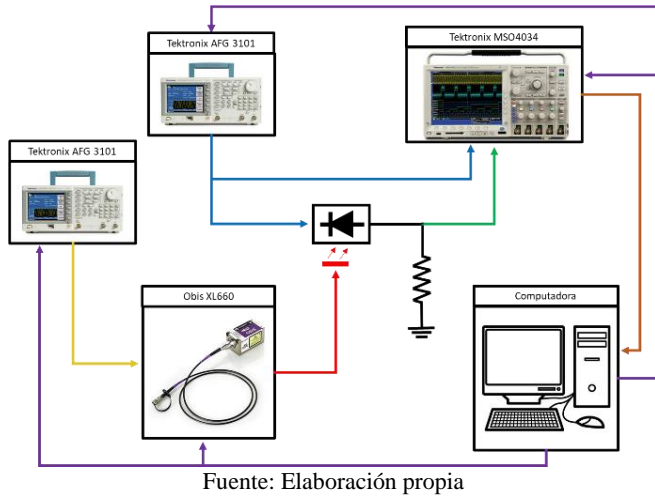
Se pueden realizar varias mediciones del muestreo a distintas frecuencias de repetición de los pulsos ópticos con varios ciclos de trabajo y para distintas frecuencias de la señal V_{in} para conocer los límites viables de la respuesta pulsada V_{RL} de cada fotodiodo al usarse en un cuito muestreador

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Software con interfaz de usuario gráfica desarrollada en Matlab para controlar y sincronizar la comunicación y transferencia datos de forma automatizada en los procesos de caracterización de fotodiodos de conmutación rápida. El software desarrollado es capaz de activar, sincronizar y comunicar automáticamente un láser, un osciloscopio y dos generadores de señal para obtener de un fotodiodo de conmutación rápida; la curva característica I-V para luz

constante, punto de operación lineal, respuesta en frecuencia, respuesta transitoria y mediciones en tiempo real de muestreo de señales analógicas por activación con luz pulsada en el fotodiodo.

Fig. 4. Diagrama de bloques para la caracterización de fotodiodos



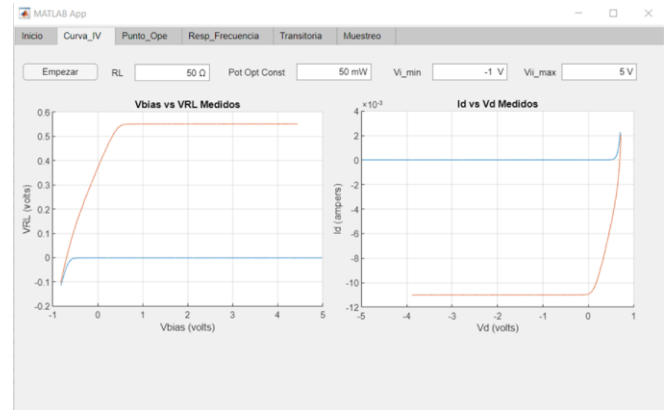
En la Fig. 4 se observa un diagrama de bloques de la conexión de los equipos de medición y láser a la computadora, en las pruebas de este software se utilizaron los siguientes equipos: un láser OBIS XL660 con una longitud de onda de 660 nm, un osciloscopio Tektronix MSO4034 y dos generadores de señal Tektronix AFG3101. Cabe destacar que se pueden utilizar otros equipos de medición electrónico siempre y cuando tengan la capacidad de recibir comandos de una computadora por medio de comunicación serial, es decir la gran mayoría de los equipos.

3.1 VENTANAS DE LA INTERFAZ GRAFICA DE USUARIO

El desarrollo de la interfaz gráfica de usuario y la lógica del código que controla la secuencia de operaciones de los instrumentos de mediciones se realizó en el ambiente de desarrollo de Matlab por medio de su complemento “App Designer” de tal manera que los 5 subprogramas utilizados para las 5 pruebas de caracterización se incluyeron en una interfaz maestra divididos en 5 pestañas, una para cada subprograma. Los equipos utilizan un lenguaje de programación basado en el estándar SCPI (*Standard Commands for Programmable Instruments*). Los instrumentos MSO4034 y AFG3101 tienen una interfaz física USB y usa el estándar VISA y el láser Obis usa conexión serial con adaptador a USB. Para este trabajo la velocidad de bits por segundo entre cada instrucción es irrelevante debido a que los instrumentos necesitan unos segundos para estabilizar su medición, por ejemplo, el láser necesita 5 segundos para estabilizar la potencia óptica cuando se cambia.

En la Fig. 5 se muestra la pestaña llamada “Curva_IV” en este se tiene la lista de instrucciones correspondientes para obtener la curva característica de corriente-voltaje del fotodiodo y la curva de voltaje en la carga con respecto a voltaje de la fuente. Esta prueba está dividida en dos mediciones, una se realiza sin aplicar luz al fotodiodo y la otra se hace aplicando un haz de luz constante, de esta forma se obtiene el comportamiento del fotodiodo de ambos estados sin luz y con luz aplicada.

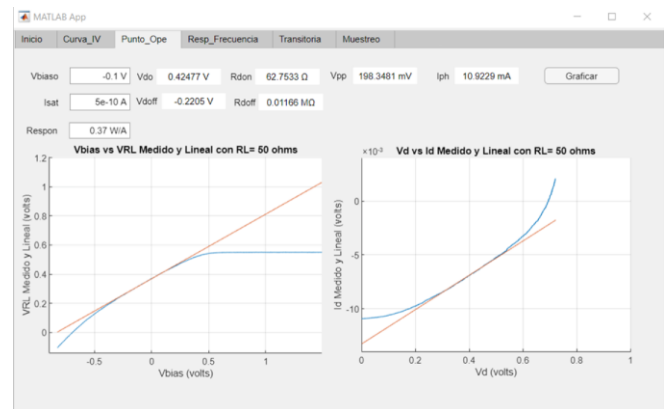
Fig. 5. Pestaña para la curva característica I-V en estado con luz constante.



Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 6 se observa la pestaña llamada “Punto_Ope” la cual se encarga de la lista de instrucciones necesarias para obtener el rango lineal de operación del fotodiodo alrededor de un punto de operación V_D o V_{bias} indicado por el usuario, de forma que muestra dos gráficas, la primera es la curva de la medición V_{RL} vs V_{bias} que incluye una recta para observar la región lineal de operación y la segunda grafica muestra la gráfica V_D vs. I_D que incluye una recta cuya pendiente es equivalente a la resistencia del fotodiodo en la región lineal.

Fig. 6. Pestaña para obtener el rango lineal de operación

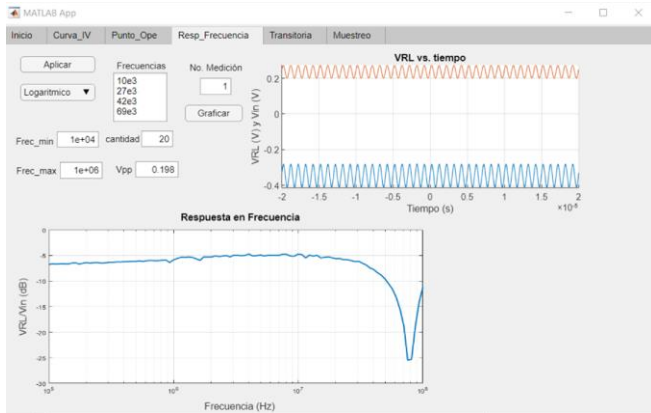


Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 7 se observa la pestaña llamada “Resp_Frecuencia”, la cual tiene el código necesario para llevar a cabo la prueba de respuesta en frecuencia la cual el usuario puede seleccionar un rango de frecuencia de forma

lineal, de forma logarítmico o puede ingresar los valores de frecuencia en forma manual. Cabe aclarar que este análisis de la respuesta en frecuencia es para saber cuál será la frecuencia máxima que puede tener la señal analógica que va muestrea el fotodiodo. Según la cantidad de frecuencias, muestra una gráfica de amplitud contra la frecuencia y otra grafica de forma individual de la respuesta con respecto al tiempo para una frecuencia determinada.

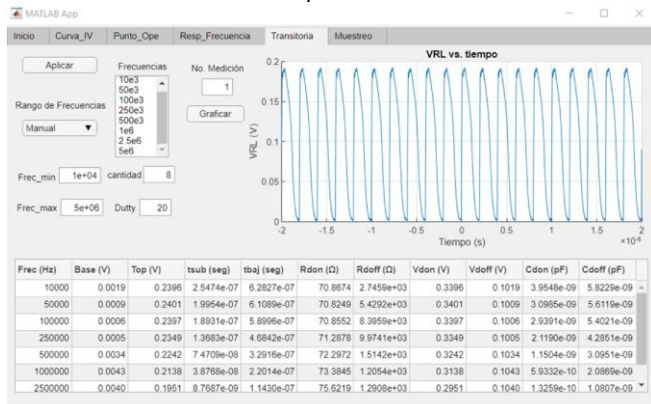
Fig. 7. Pestaña para prueba de respuesta en frecuencia.



Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 8 se muestra la pestaña llamada “Transitoria”, en esta se ejecuta el código correspondiente para obtener la respuesta transitoria del voltaje de carga VRL a la reacción de pulsos ópticos aplicados por el láser a distintas frecuencias y distintos anchos de pulso, que pueden ser configurados por el usuario, de dicha respuesta se grafica con respecto al tiempo de cada medición individual y se genera una tabla con los tiempos de subida y bajada, resistencias y capacitancias equivalentes de cada medición. En el anexo se muestra una sección del código de esta prueba.

Fig. 8. Pestaña para la prueba de respuesta transitoria a los pulsos ópticos.

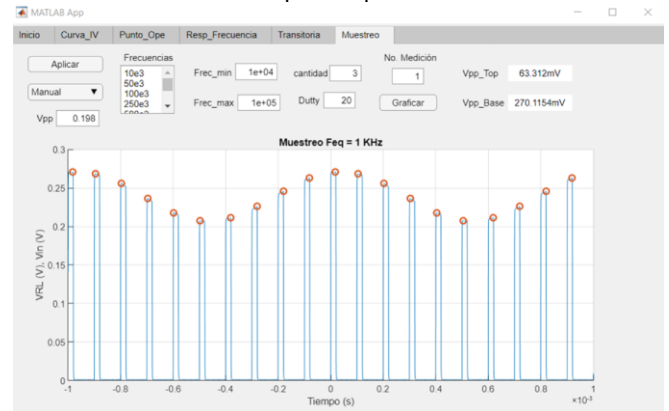


Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 9 se muestra la pestaña llamada “Muestreo” en la cual se ejecuta el código encargado de obtener las gráficas con respecto al tiempo de los pulsos de respuesta del voltaje de

carga del fotodiodo al responder a los pulsos ópticos del láser y además al reaccionar a los cambios de nivel de una señal analógica de voltaje tipo senoidal, todo esto resulta en una señal muestreada de dicha señal analógica, lo que permite comprobar la aplicación del circuito de conmutación en los procesos de muestreo que se pueden implementar en la conversión de señales de analógico a digital.

Fig. 9. Pestaña para el muestreo de señal analógica por activación de pulsos ópticos



Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo es desarrollar un software con interfaz gráfica que realice todas las pruebas para la caracterización de fotodiodos de conmutación rápida, pero también el objetivo es la automatización de las mediciones para cada prueba. Se logro desarrollar un software donde se tienen todas las pruebas necesarias para la caracterización y además se configuran de un forma sencilla y amigable para el usuario, donde el usuario puede realizar las 5 pruebas o solo una según lo necesite.

Al mismo tiempo con el desarrollo de este software se automatizan la gran cantidad de mediciones que se requieren para las pruebas, con esto se reducen tiempos en la ejecución de las pruebas comparadas con la ejecución manual y eliminan los posibles errores humanos. Como se caracteriza un fotodiodo para uso en conmutación rápida, las pruebas se deben realizar a diferentes frecuencias de activación del fotodiodo lo que hace que incrementen la cantidad de mediciones, por ejemplo, en la prueba de respuesta transitoria y muestreo, se hacen 13 mediciones respectivamente y para la respuesta en frecuencia 100 mediciones. En la Tabla 1 se muestran los tiempos de cada prueba realizada donde se puede observar que los tiempos de la ejecución automatizada son mucho más rápidos para cada prueba en comparación con la ejecución manual.

Tabla 1. Tiempo de ejecución de pruebas de forma manual y automatizado.

Prueba	Tiempos (min)	
	Manual	Automatizado
Curva I-V	40	5
Punto de operación	20	0.5
Respuesta en frecuencia	200	50
Respuesta transitoria	50	10
Muestreo	50	10
Tiempo total	340	75.5

Fuente: Elaboración propia

3.1 OBSERVACIONES GENERALES

El autor le agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico a los estudios de Daniel Omar Baez Nuñez, así como a la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) por permitirles el uso de las instalaciones y el equipo necesario para la realización de este trabajo.

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

4. REFERENCIAS

- [1] I. O. Hernández Fuentes, Desarrollo de técnicas para la caracterización de dispositivos de conmutación rápida con activación óptica basados en fotodiodos tipo PIN, Editorial UABC, 2019.
- [2] D. O. Baez Nuñez, Desarrollo de un sistema de muestreo optoelectrónico polifásico por medio de fotodiodos, red de fibra óptica y un solo láser pulsado, 2019.
- [3] C. Villa, P. Kumavor y E. Donkor, «Optoelectronics Encoder for a 12-bit 1.28-GSPS Analog-to-Digital Converter,» IEEE Photonics Technology Letters, 21(17), pp. 1238 - 1240, 2009.
- [4] C. Villa-Angulo, I. O. Hernandez-Fuentes, R. Villa-Angulo y E. Donkor, «Bit-Resolution Improvement of an Optically Sampled Time-Interleaved Analog-to-Digital Converter Based on Data Averaging,» IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 61(4), pp. 1099 - 1104, 2012.
- [5] C. Villa, P. Kumavor y E. Donkor, «Demonstration of a Self-Synchronized Polyphase Sampling and Demultiplexing Scheme for Radio-Frequency Analog Signals,» IEEE Photonics Technology Letters, 20(6), pp. 452 - 454, 2008.
- [6] C. Villa-Angulo, I. O. Hernandez-Fuentes, R. Villa-Angulo, S. E. Ahumada-Valdez, R. A. RamosIrigoyen y E. Donkor, «Implementation of a 10.24 GS/s 12-bit Optoelectronics Analog-to-Digital Converter Based on a

Polyphase Demultiplexing Architecture,» Journal of Applied Research and Technology, 11(1), pp. 115 - 123, 2013.

[7] I. O. Hernández-Fuentes, C. Villa-Angulo, R. Villa-Angulo y E. Donkor, «Linear Operation Range for an Optically Triggered Switch Based on a p-i-n Photodiode,» IEEE Photonics Technology Letters, 26(18), pp. 1813 - 1816, 2014.

ANEXO

Aquí podemos ver una sección del código del subprograma respuesta transitoria, debido a que se debe probar el fotodiodo a diferentes frecuencias, esta sección se encarga de cambiar la frecuencia de la señal eléctrica que activa al láser, también cambia la base de tiempo, escala de voltaje y nivel del disparador (Trigger) del osciloscopio, una vez que la medición se estabiliza se envían los datos de las señales medidas a la computadora. Esta sección de código se repite para cada frecuencia deseada, para este trabajo fueron 13 frecuencias seleccionadas.

```

for i=1:n
set(app.Gen1.Frequency(1), 'Frequency', f(i));
set(app.DvcOsci.Acquisition(1), 'Timebase', time(i));
switch D
    case 16
set(app.Gen1.Voltage(1), 'Offset', Offset_Gen1(i));
    case 2
set(app.Gen1.Pulse(1), 'Width', Width_Gen1(i));
    case 20
set(app.Gen1.Voltage(1), 'Offset', Offset_Gen1(i));
    otherwise
        disp('other value')
end
pause(2)
V1 = get(app.DvcOsci.Measurement(1), 'Value');
Vc1 = V1/8;
trigger = V1/2;
set(app.DvcOsci.Channel(1), 'Scale', Vc1);
set(app.DvcOsci.Trigger(1), 'Level', trigger);
pause(3)
set(app.DvcOsci.Acquisition(1), 'Control', 'single');
pause(2)
groupObj = get(app.DvcOsci, 'Waveform');
groupObj = groupObj(1);
[CH1(:,2),CH1(:,1), YUNIT, XUNIT] = invoke(groupObj, 'readwaveform', 'channel1');
pause(1)
groupObj = get(app.DvcOsci, 'Waveform');
groupObj = groupObj(1);
[CH2(:,2),CH2(:,1), YUNIT, XUNIT] = invoke(groupObj, 'readwaveform', 'channel2');
pause(1)
end

```