

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

Trabajo Práctico N° 3

Laboratorio de Electrónica - 2019

Grupo 1:

Galdeman, Agustín Ignacio
Gaytan, Joaquín Oscar
Kammann, Lucas Agustín
Maselli, Carlos Javier

Profesores:

Cossutta, Pablo Martín
Weill, María Alejandra
Salvati, Matías Damián

19 de septiembre de 2019

Índice

Circuito Convertidor Boost	3
Barrido de frecuencias	3
Barrido de duty	4
Respuesta al escalón	5
Medición de ripple	6
Caracterización de la bobina L	7
Caracterización del transistor Q1	8
Caracterización del transistor Q1 con accesorio resorte	9

Circuito Convertidor Boost

El objetivo de este trabajo es realizar un conjunto de mediciones sobre el circuito ilustrado en la Fig. 1 al cual se denomina Convertidor Boost. Cualitativamente, el funcionamiento de dicho circuito consiste en la utilización de un transistor como dispositivo de conmutación para abrir y cerrar la respectiva rama del circuito, de esta forma cuando el mismo se encuentra en el modo de saturación circula sobre el inductor una corriente y comienza a almacenar una determinada cantidad de energía correspondiente al tiempo durante el cual se la carga. Por otro lado cuando el transistor se encuentra en el modo de corte, el inductor se comienza a descargar a través de los capacitores, cargándolos por corrientes lo cual permite elevar su nivel de tensión en cada ciclo. Finalmente, el diodo es utilizado para evitar que el capacitor se descargue por el transistor en el momento en que se pone en modo de saturación, en cuyo caso la descarga se hace del capacitor a la carga del circuito, por tanto habrán pequeñas variaciones de la tensión que almacena en el tiempo el capacitor, tales variaciones serán denominadas como ripple, y es uno de los aspectos a medir en este trabajo.

Por otro lado, el estado de la conmutación del transistor es controlado por un generador de funciones que provee una señal cuadrada cuya tensión debe ser siempre positiva para evitar sobrepasar el valor de tensión de ruptura de la juntura base-emisor. Mientras que la amplitud de dicha señal de entrada es un aspecto importante para definir el estado de polarización del transistor, su frecuencia y duty permiten determinar el tiempo durante el cual se carga con corriente el inductor, y luego se descarga hacia el capacitor, esto último tendrá una importante incidencia sobre el valor resultante de la salida y su ripple.

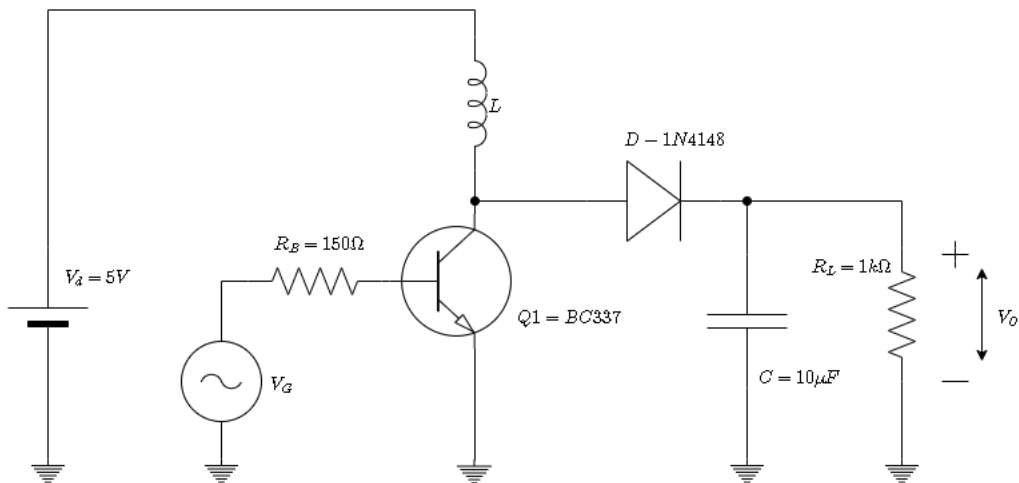


Figura 1: Circuito convertidor boost

A continuación se describen una serie de experiencias y observaciones realizadas en el ensayo experimental del circuito. Vale mencionar, que si bien inicialmente el circuito propuesto para el análisis es el ilustrado en la Fig. 1, en la práctica se cambio la resistencia de la carga $R_L = 100\Omega$ para poder realizar mejor las mediciones.

Barrido de frecuencias

Se configura el generador de funciones con una onda cuadrada con valor de amplitud $5V$ y duty 50% . Luego se fija la frecuencia de la misma en $2kHz$ y luego se va incrementando gradualmente hasta alcanzar los $200kHz$ para poder observar el comportamiento del circuito para cada frecuencias de forma aproximada. En la Fig. 2 se pueden observar los resultados de cuatro de las mediciones realizadas, donde cabe destacar que la onda de color amarilla corresponde a la entrada provista por el generador de funciones, y la verde es la salida medida sobre la R_L .

De estos resultados lo que se observa es que la frecuencia de la onda cuadrada que controla la conmutación del transistor, efectivamente tiene una influencia sobre el valor del ripple de la salida, esto es, las variaciones del nivel de continua que idealmente se esperarían fueran nulas. Además, para las bajas

frecuencias la salida tenía un valor medio aproximadamente de $V_L = 9V$ mientras que para los casos de mayor frecuencia el valor se fue corriendo aproximadamente hacia $V_L = 11V$.

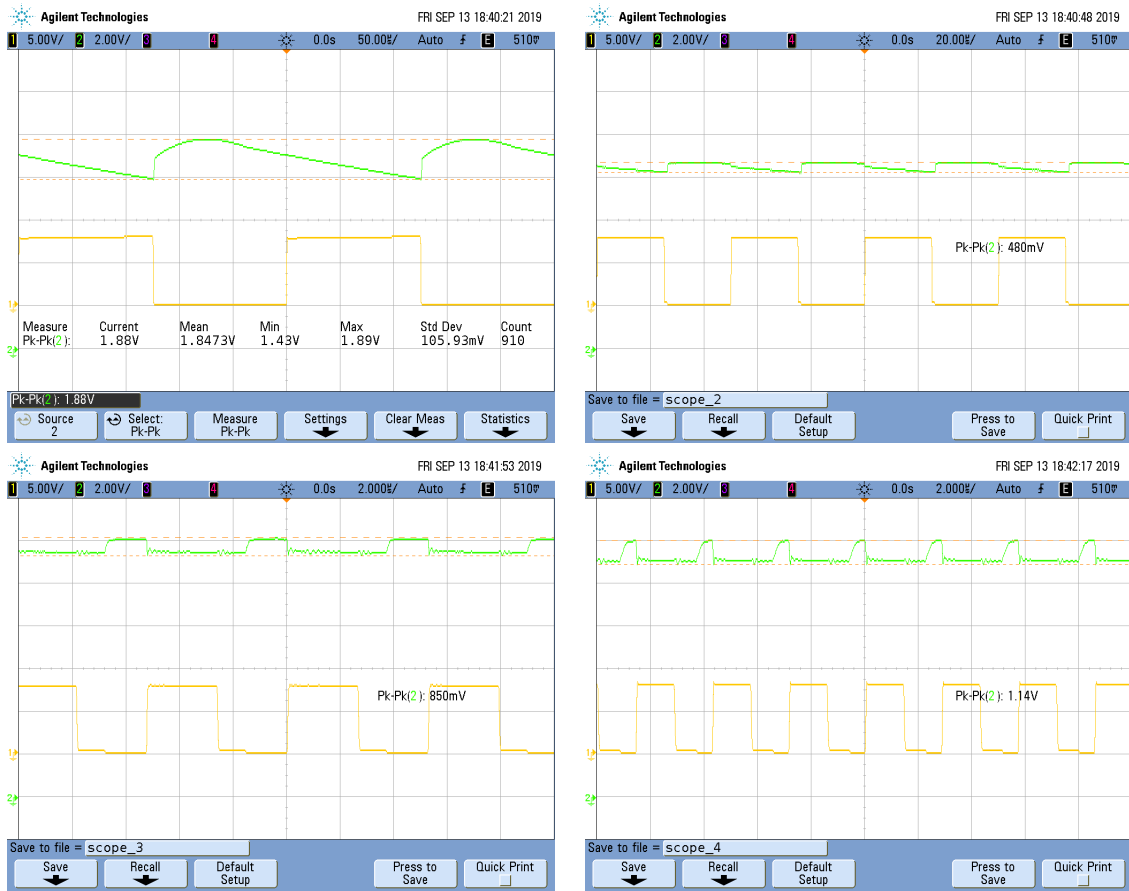


Figura 2: Mediciones variando la frecuencia de la entrada

Barrido de duty

Se excita al circuito configurando con el generador una onda cuadrada de frecuencia $f = 25kHz$, la amplitud se mantiene de igual forma que en el análisis anterior y luego se varía el valor del duty cycle de la onda desde el 20 % hasta el 80 %. Los resultados de cuatro de las mediciones realizadas se pueden observar en la Fig. 3, donde si bien se puede observar de las propias mediciones, es necesario aclarar que la onda amarilla corresponde a la onda de entrada y luego la verde a la salida, y respectivamente se configuraron con duty 20 %, 40 %, 50 % y 60 %.

Se puede verificar que a medida que el duty aumenta, luego también el nivel de continua a la salida lo hace, lo cual desde un punto de vista físico tiene sentido ya que se aumenta el intervalo de tiempo durante el cual el transistor entra en modo saturación y se carga el inductor, aumentando la cantidad de energía que luego esta contiene y entrega al capacitor, que en consecuencia se carga a un nivel de tensión superior. No obstante, si se realiza un análisis teórico del circuito se puede encontrar que la expresión matemática que gobierna la relación entrada y salida respecto del valor del duty está dada como se muestra en la Ec. 1, lo cual no se puede verificar completamente en la práctica, ya que para todas las mediciones realizadas siempre hay un error de aproximadamente $E_R \approx 20\%$, que de todas formas no permanece igual para todos los casos.

$$H = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - D} \quad (1)$$

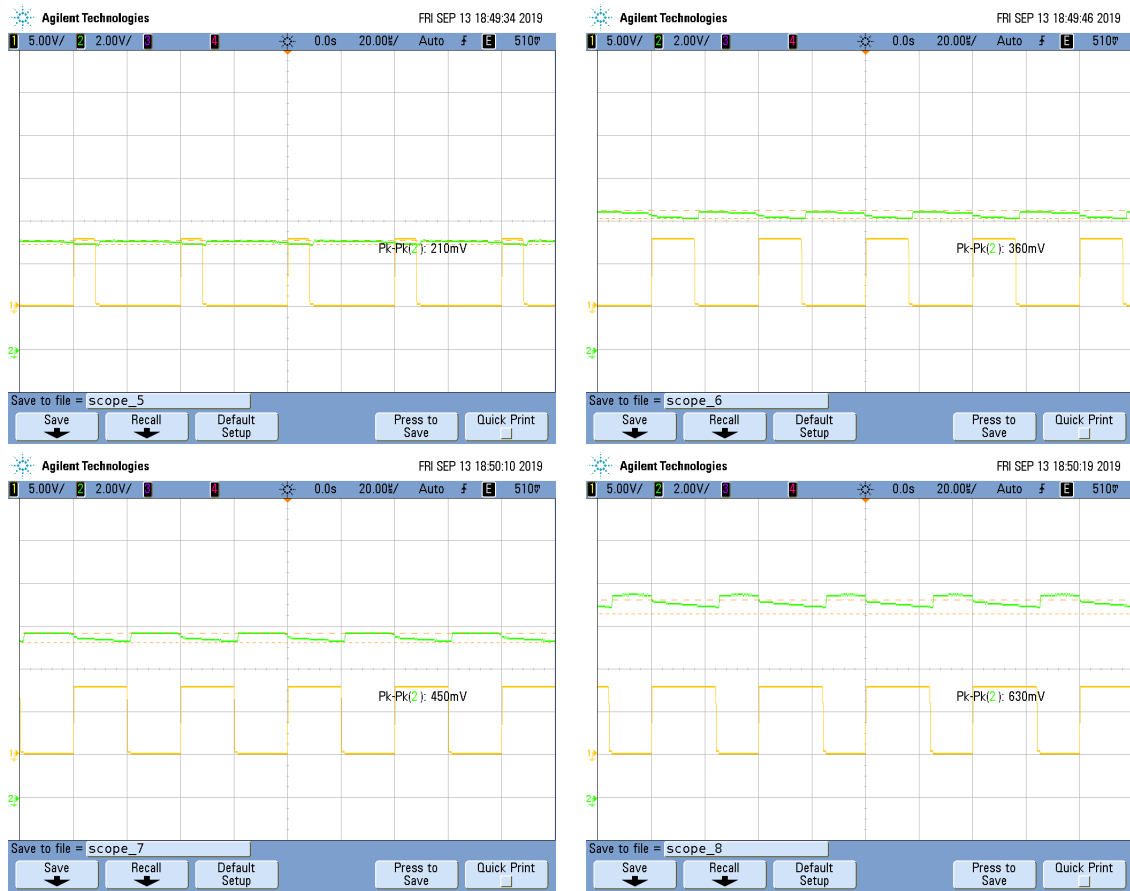


Figura 3: Mediciones variando el duty de la entrada

Respuesta al escalón

Establenciendo que las condiciones nominales de la operación del circuito es utilizando como excitación en la entrada del transistor una onda cuadrada de $f = 25kHz$ y $D = 50\%$, luego se configura el osciloscopio en modo Single y desconectando y conectando la fuente de alimentación V_d del circuito, se mide la respuesta al escalón del convertidor boost. La forma de onda resultante se puede observar en la Fig. 4 de lo que puede deducirse un comportamiento de segundo orden en estado subamortiguado que luego de un tiempo alcanza a establecerse en el régimen permanente, y a lo largo de todo ese proceso alcanzan a verse las variaciones producidas por la conmutación del transistor.

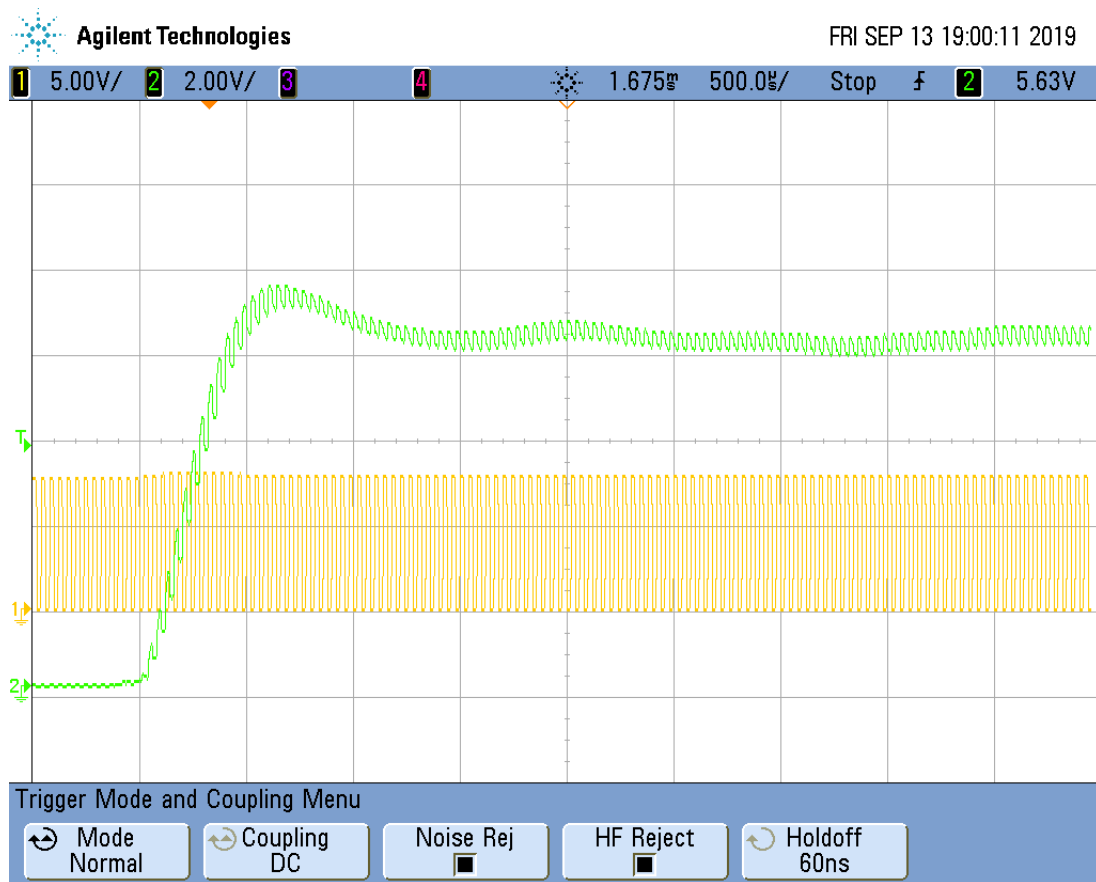


Figura 4: Medición de la respuesta al escalón del Convertidor Boost

Medición de ripple

En la primera de las mediciones presentadas en este trabajo se pudo observar el ripple de la salida para el caso del circuito propuesto, con lo cual ahora se busca comparar el resultado cuando se agrega a la salida otro capacitor de valor $100nF$ particularmente de tecnología cerámico multicapa. El objetivo de esto no es sólo aumentar la capacidad para reducir las variaciones de ripple por mantener mayor cargas, sino que además al tener varios capacitores en la salida de diversas tecnologías se logra mejorar el comportamiento de los mismos compensando algunos de sus efectos.

En la figura, la medición de la izquierda corresponde al caso donde únicamente se tiene un capacitor electrolítico, mientras que en la de la derecha se agregó un capacitor cerámico.

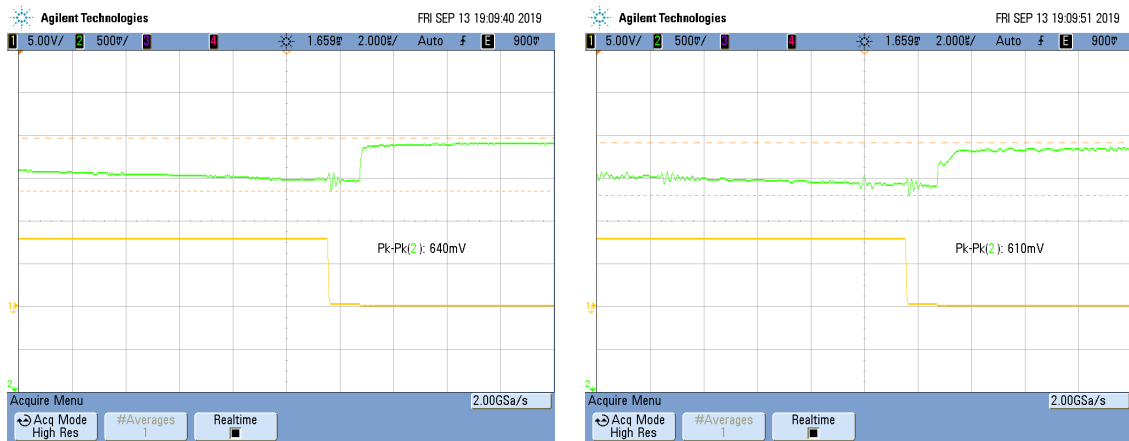


Figura 5: Medición del ripple de la salida

En la Fig. 6 se puede observar el circuito inicialmente propuesto con un capacitor de salida adicional que es el que se describió previamente como cerámico de $100nF$. Además, se reemplazaron los capacitores por sus modelos paralelos en su forma más simple, esto es, considerando únicamente una resistencia en paralelo correspondiente a las corrientes de pérdida a través del dieléctrico del capacitor, sin considerar otros efectos como inductancias o resistencias parásitas por los terminales o por los procesos de fabricación como suele ser en el caso del electrolítico por el enrollado de las láminas de material conductor y aislante. Las diferencias constructivas de las tecnologías de ambos capacitores suelen resultar en diferentes características como el orden de magnitud de las resistencias en paralelo o bien el rango de operación para la frecuencia, con lo cual emplear un banco de diferentes tecnologías permite compensar para las regiones en las cuales algunas de ellas no tienen un buen rendimiento, con otras que sí lo tienen. No obstante, sigue requiriéndose un capacitor electrolítico por su alto valor de capacidad frente al caso del cerámico.

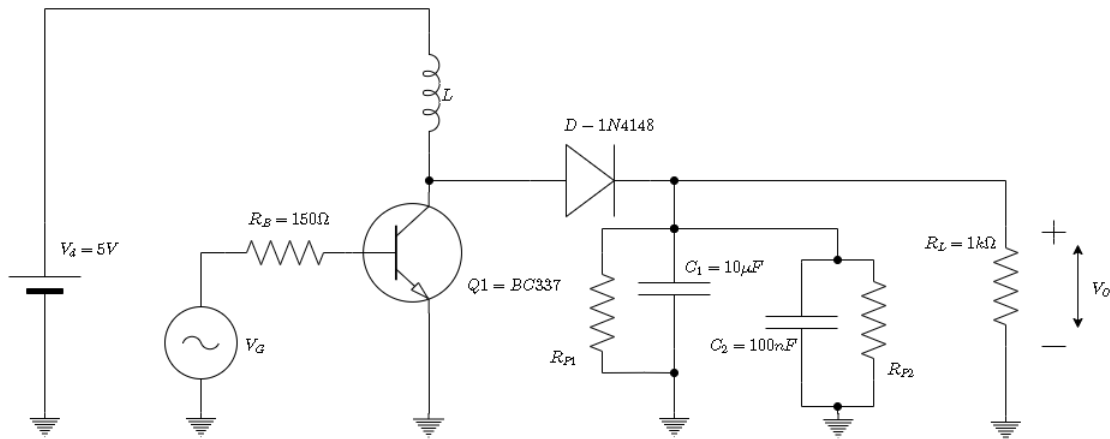


Figura 6: Circuito con capacitor adicional y modelos del mismo

Caracterización de la bobina L

Se busca caracterizar el estado de la bobina L durante el funcionamiento de circuito, para ello se mide su tensión y corriente, además de determinar su valor de forma empírica. Para lograr esto, en primer lugar se mide la tensión en el colector del transistor y luego sobre la tensión de la fuente de alimentación, finalmente se emplea la función del osciloscopio para obtener la diferencia. Por otro lado, para obtener la corriente se agregó una resistencia en serie de un valor de $R = 10\Omega$ sobre la cual se repitió el proceso. Finalmente, con estas mediciones se puede determinar el valor de corriente y tensión del inductor en función del tiempo. Para obtener el valor de la inductancia se integra la tensión obtenida sobre el inductor y la tensión obtenida sobre la resistencia auxiliar que se utilizó para medir la corriente, de forma tal que existe una

relación proporcional en función la de inductancia entre tales magnitudes.

Cabe mencionar que, en la captura de la izquierda, la señal de color amarilla es la tensión en el colector del transistor, luego la de color violeta corresponde a la función math que es la integral de la diferencia de potencial sobre la bobina, y finalmente la verde corresponde a la tensión antes de la bobina. En la captura de la derecha, la señal verde y la amarilla corresponden a la tensión antes y despues de la resistencia y violeta corresponde a la diferencia de ambos canales, lo cual permite medir la caída de tensión en la resistencia.

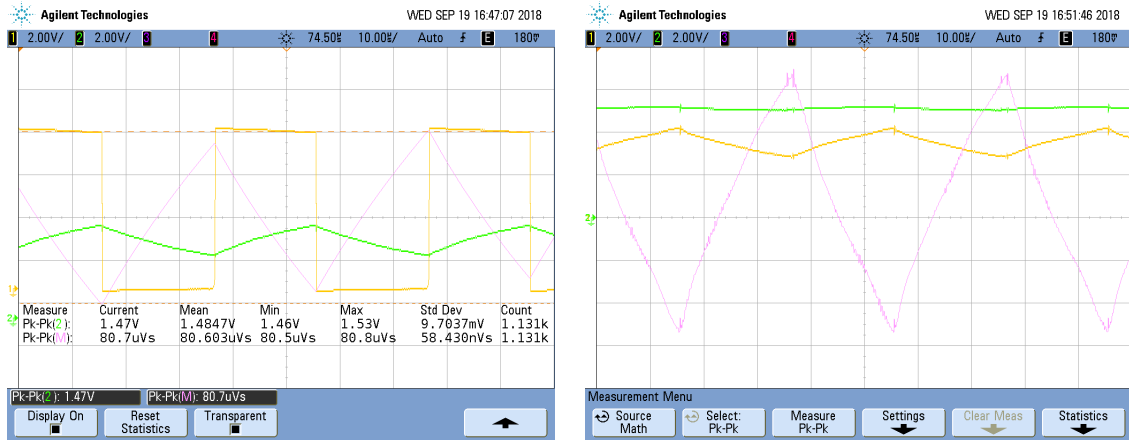


Figura 7: Mediciones sobre la tensión sobre el inductor y la resistencia

Para determinar a partir de los datos obtenidos el valor de la inductancia L , entonces se plantea:

$$\begin{aligned}
 V_L(t) &= L \cdot \frac{\delta i_L(t)}{\delta t} \\
 \int V_L(t) \cdot \delta t &= L \cdot i_L(t) \\
 \int V_L(t) \cdot \delta t &= \frac{L}{R_{aux}} \cdot V_R(t) \\
 \Rightarrow L &= \frac{\int V_L(t) \cdot \delta t}{V_R(t)} \cdot R_{aux} \\
 \Rightarrow L &= 548,97\mu\Omega
 \end{aligned}$$

Caracterización del transistor Q1

Se muestra en esta sección las mediciones realizadas sobre la base (V_{BE}) y colector (V_{CE}) del transistor. Se muestra en la Figura 8 la captura de pantalla tomada del osciloscopio. Estas mediciones se realizan con el generador de onda cuadrada conectado a la base del transistor con una frecuencia $f = 25KHz$ y un duty cycle $D = 50\%$.

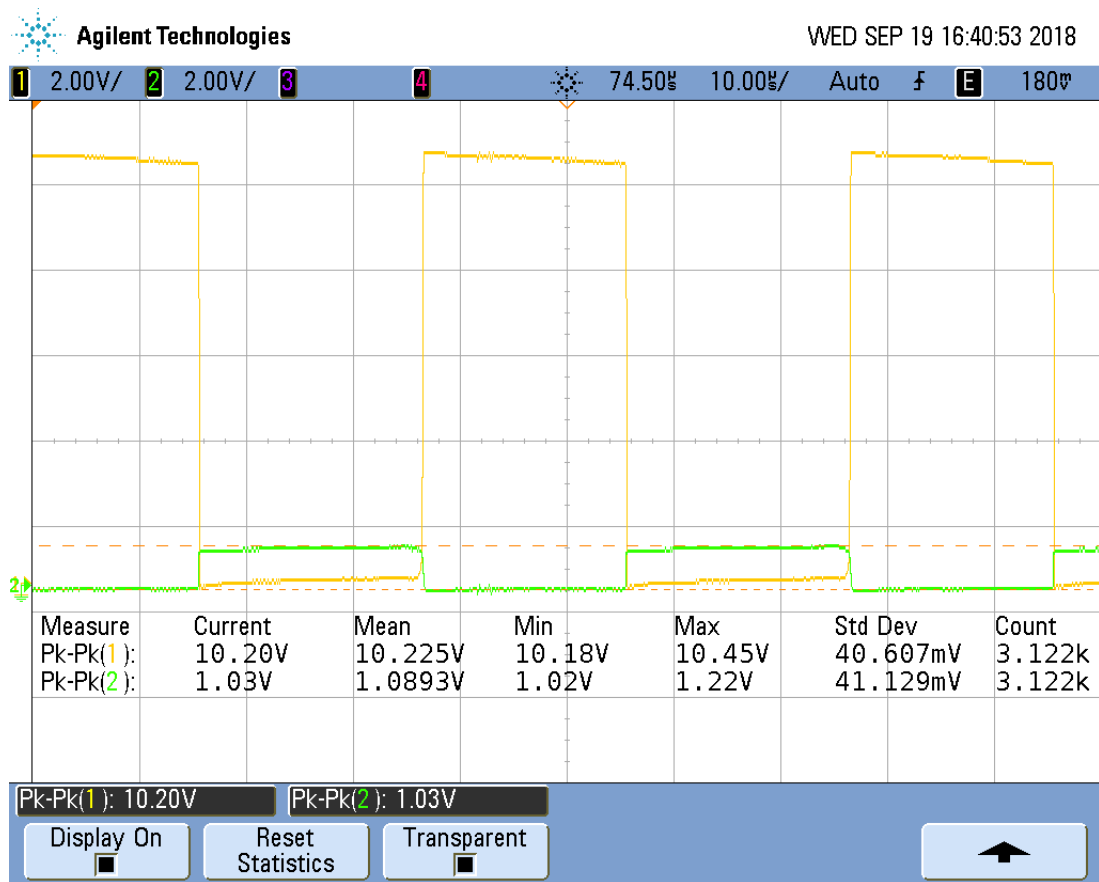


Figura 8: Mediciones de V_{BE} (Verde) y V_{CE} (Amarillo) del transistor

Se pueden observar claramente las 2 regiones de interés, el corte y la saturación del transistor. Cuando la señal cuadrada en la base es 0V y $V_{BE} = 0V$ la juntura base-emisor no se polariza y el transistor se comporta como un circuito abierto (corte). Por consiguiente, $V_{CE} \simeq V_o - V_D$ siendo V_D la tensión que cae en el diodo de aproximadamente 0,7V. Cuando el transistor se encuentra en saturación, en cambio, se puede observar que la juntura base-emisor se polariza en directa, por lo que $V_{BE} \simeq 1V$ y $V_{CE} \simeq 0V$. Esto sucede cuando la señal de entrada es de 5V

Caracterización del transistor Q1 con accesorio resorte

En esta sección se busca comparar las mediciones realizadas con el accesorio resorte en la punta, con las realizadas conectando la masa de la punta con el cable, como se hace normalmente. Para realizar dichas mediciones por se conserva la configuración utilizada en la sección anterior. Se muestra en la Figura 9 los resultados obtenidos.



Figura 9: Medición del V_{CE} sin resorte (Izquierda) y con resorte (Derecha)

Si bien en las capturas del osciloscopio solo se toma el trazo de una pasada del haz digital, lo que hace que la diferencia no sea tan notable, se puede ver como el ruido inducido en la medición de la manera usual hace que la señal se deforme. Este efecto es mucho menos notorio, por no decir casi inexistente, en la medición realizada con el accesorio resorte.