

NERVIO VAGO - OBSERVACIONES

(SEPTIEMBRE 2023)

Resumen— El siguiente reporte fue realizado con la finalidad de dar a conocer las observaciones importantes realizadas respecto al proyecto para la realización de un estimulador del nervio vago. El prototipo actual del estimulador del nervio vago consta de una varilla programadora, software de programación y una PCB para enviar las señales necesarias según las especificaciones médicas/biológicas de los pacientes. En el transcurso de este año se enfocó el esfuerzo en la revisión de la PCB dado que en trabajos anteriores se reportó que dicha placa no funcionaba correctamente. Para poder realizar dicha revisión se examinaron los códigos que se deben cargar a la placa así como el circuito utilizado en el proyecto. Para lo cual se realizaron simulaciones del circuito en software y hardware, así como revisión de las hojas de datos de los componentes utilizados. Luego de la exploración se lograron determinar características importantes acerca del proyecto en general, que ayudarán a tener una idea más clara acerca de las posibles causas, aún desconocidas, por las que la placa no funciona.

Metodología y resultados

Revisión de Software

Durante la fase de revisión de software se revisó el repositorio del Ing. Erick Aquino dado que era la última etapa del proyecto, respecto al software a utilizar para que el estimulador del nervio vago funcione. Sin embargo al revisar su repositorio se observó que sus códigos estaban separados en tres secciones: Estimulador, Varilla y Caracterización. Entonces se decidió realizar una reunión con el Ing. Aquino, en la cual explicó que dado que la placa del estimulador del nervio vago no funciona actualmente, decidió que realizaría la programación de los componentes de la placa por separado y en protoboard. Sin embargo, el Ing. Aquino, comentó en dicha reunión que según sus propias pruebas, las señales de la programación ya estaban listas y funcionando correctamente, pero el error desembocó en el circuito Convertidor de Voltaje a Corriente.

Por otro lado, entonces se procedió a revisar antecedentes con mayor precedencia, los del Ing. Gustavo Ordóñez. En este caso se observó que aunque en este repositorio si existían todas las funciones necesarias para la funcionalidad del estimulador del nervio vago, estos también se encuentran seccionados. Se puede observar que los códigos utilizados están por separado y no todo integrado.

Revisión de componentes

Luego de la reunión con el Ing. Aquino, se procedió a realizar la revisión de componentes y circuitos utilizados según la última versión de la placa que funcionó en algún momento. Estos archivos se refieren a la documentación del Ing. Ordóñez, quién presentó la placa que se debe solucionar. En dicha documentación se pueden encontrar los esquemáticos y el diseño 3D de la placa, los cuales permiten realizar la revisión de componentes e interconexiones. Los componentes a utilizados según los archivos descritos son:

- ATSAM21E18A: Microcontrolador utilizado
 - <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/1346472/MICROCHIP/ATSAMD21E18A.html>
- MCP41100: Potenciómetro digital
 - <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/552927/MICROCHIP/MCP41100.html>
- AP2112K: Regulador lineal
 - <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/453664/BCDSEMI/AP2112K-3.3TRG1.html>
- XTR111: Convertidor de Voltaje a Corriente
 - [Precision Voltage-to-Current Converter/Transmitter datasheet \(Rev. C\)](#)
- MMBT3906: Transistor PNP
 - <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/208441/PANJIT/MMBT3906.html>
- MMFT2955E: Mosfet canal P
 - <https://www.onsemi.jp/pdf/datasheet/mmft2955e-d.pdf>

Uno de los inconvenientes para la verificación de errores consiste en la disposición de componentes actual. Cada año, se actualizan los inventarios de las tiendas locales, por lo que en 2019 el Ing. Ordóñez logró conseguir de manera local la plataforma Trinket M0 la cual implementa el microcontrolador ATSAM21E18A, lo cual hoy no es posible. Esto trae inconvenientes cuando se quieren utilizar los mismos diseños de esquemáticos, o los mismos códigos que se han utilizado durante etapas anteriores, dado que para el prototipo final se soldaron y desoldaron los microcontroladores de las plataformas Trinket M0 para soldarlos en las placas impresas del estimulador del nervio vago.

En el caso del potenciómetro digital, funciona por medio de comunicación SPI, pero no necesita programación precisamente. Así como el regulador lineal, el cual únicamente recibe una señal y la mantiene estable en el valor deseado, entonces estas dos etapas funcionan como una extensión al alcance del microcontrolador. En este caso sí pueden ser sustituidos con facilidad, cuando de características se trata, sin embargo los diseños también pueden variar.

En la última etapa se utiliza el integrado XTR111 y el transistor MMBT3906 y el Mosfet canal P MMFT2955E. Los últimos dos componentes son bastante fáciles de sustituir en todo sentido, pero no es el mismo caso para el XTR111. Sin embargo todavía se puede obtener a partir de páginas web como Mouser.

Revisión de funcionamiento (simulaciones)

El circuito de voltaje a corriente que plantea el Ing. Ordóñez, es resultado de iteraciones realizadas para tener un mejor funcionamiento en función de la exactitud y precisión del funcionamiento. Dicho esto, en la última fase de la iteración utilizó el circuito integrado XTR111, el cual es un chip fabricado por Texas Instruments, el cual es capaz de entregar desde 0 hasta 20 mA con una precisión del 0.0015%. Sin embargo, la hoja de datos del mismo indica que es recomendable aplicar un circuito de seguridad contra sobrecorrientes a la salida, el cual incluye un transistor PNP, un mosfet de canal P, una resistencia y un capacitor.

Entonces se procedió a realizar una comparación entre los circuitos presentados en la hoja de datos del integrado XTR111, y el que presentó Ordóñez en sus archivos. La construcción de ambos circuitos estaba hecha de manera correcta al momento de analizar los esquemáticos, sin embargo, fue al observar el modelo 3D, que se identificó una conexión que era incongruente tanto con los esquemáticos como con la hoja de datos del integrado. En el caso del modelo 3D se observa que los pines de la Base y del Colector del transistor PNP estaban en posiciones opuestas. En este punto, se procedió a revisar las placas físicas, en las cuales se observó que el transistor estaba colocado de una

manera poco convencional, la posición estaba ajustada de tal manera que se trató de colocar el Colector del transistor en su posición deseada. No obstante, este proceso no resultó completamente correcto, dado que ahora las posiciones de la Base y el Emisor del transistor se encuentran opuestas. También se observó que se utilizó un capacitor de 10 μF en lugar del capacitor de 10 nF que aparece en el ejemplo de la hoja de datos del XTR111. Sin embargo, este cambio únicamente afecta en el tiempo de bajada o subida de la señal.

Luego de encontrar las inconsistencias entre el esquemático, el modelo 3D y el modelo físico, se realizó una simulación de parámetros utilizando el software LTSpice, en el cual se simularon los parámetros del resto del circuito de tal manera que pudiera replicar el comportamiento esperado. Para lograr esto se investigó acerca de los componentes utilizados de tal manera que se utilizaran los mismos o por lo menos modelos similares para la simulación de parámetros. Ordóñez utilizó transistores de la serie 3906, para el mosfet la serie 2955, resistencias de 15 ohmios y un capacitor de 1 μF . Se consultó la hoja de datos para cada uno de estos componentes, para poder buscar los más similares en el software LTSpice, el único componente que no se logró encontrar de manera similar fue el mosfet. También es importante mencionar que el integrado XTR111, si tiene su modelo para el software, por lo que sus condiciones si se pudieron replicar.

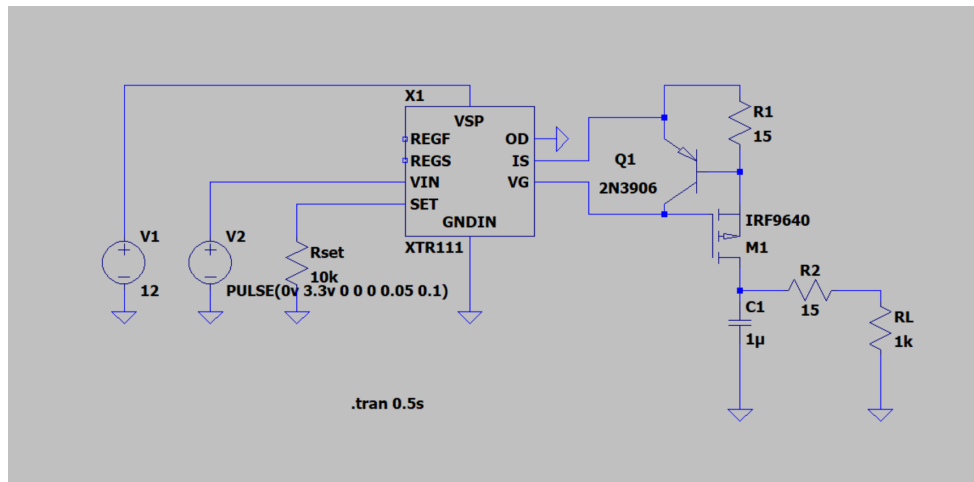


Figura 1. Simulación de circuito del Ing. Ordóñez para la sección de conversión voltaje a corriente

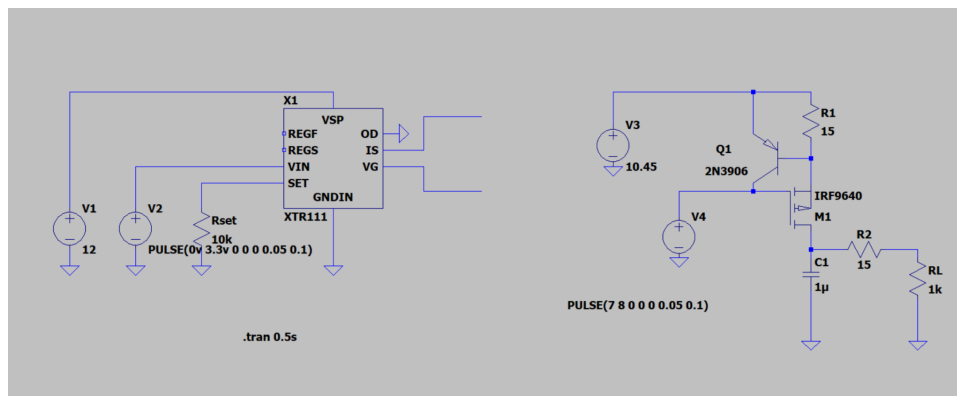


Figura 2. Simulación de circuito de conversión de voltaje a corriente con fuentes equivalentes a las salidas del XTR11

Los resultados de esta simulación fueron satisfactorios, respecto del funcionamiento esperado del estimulador. Sin embargo, esto no responde a la idea de por qué el circuito físico no funciona. Esto llevó a la conclusión de probar simular las fallas que se encontraron en el modelo 3D, lo cual consistió en cambiar la posición del transistor, entre su base y su emisor, sin embargo no se apreció ningún cambio significativo. Este resultado tiene sentido, dado que este circuito funciona como un circuito de seguridad, entonces la corriente que entra a la Base del transistor nunca fue suficiente para activarlo.

La siguiente simulación realizada se hizo en la plataforma en línea Falstad, para poder utilizar dicha plataforma se tuvo que realizar una medición de los valores que el circuito integrado devuelve luego de los valores de entrada (En LTSpice). Los valores resultantes requirieron la simulación de una fuente de Voltaje continua de 10.5 V, y una fuente con señal cuadrada para encender el mosfet entre 7.2 V y 8.0 V. Dichos valores fueron útiles dadas las características del mosfet. En este punto se logró identificar un comportamiento que no era el esperado, lo cual sí tiene sentido con que no funcione la placa física. En este caso la salida del circuito se veía atenuada y con un desfase positivo. El desfase era de 9.5 V y la señal tenía una amplitud de 0.4 mA, cuando se esperaba una de 1.5mA. Este resultado se pudo variar en la simulación al cambiar el Voltaje de límite entre el pin Gate y el pin Source, dado que este se encontraba inicialmente en -1.5 V. Este valor de límite del voltaje, se encuentra fuera de rango del valor que presenta en mosfet MMFT2955 en la hoja de datos, cuyos valores están entre 2.0 V y 4.5 V. Sin embargo, normalmente este valor se encuentra en el rango negativo, y los que tienen este valor positivo son mosfets especiales. También es importante aclarar que la hoja de datos de este componente está descrita como obsoleta.

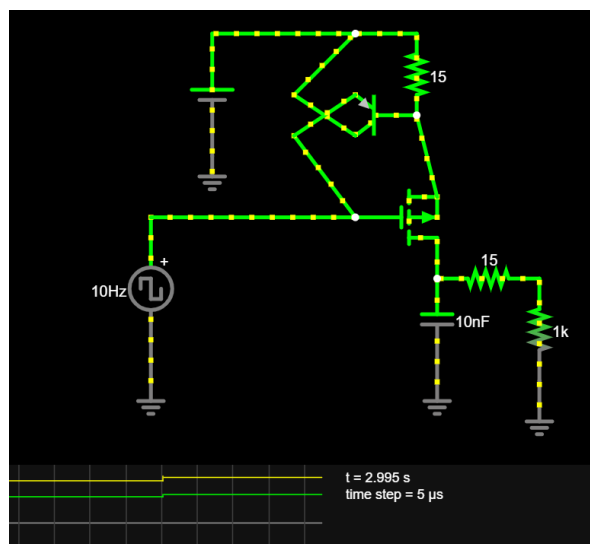


Figura 3. Primera simulación en Falstad, con la colocación de componentes según la placa que diseñó el Ing. Ordóñez y con $V_{g(th)}$ igual a -1.5 V

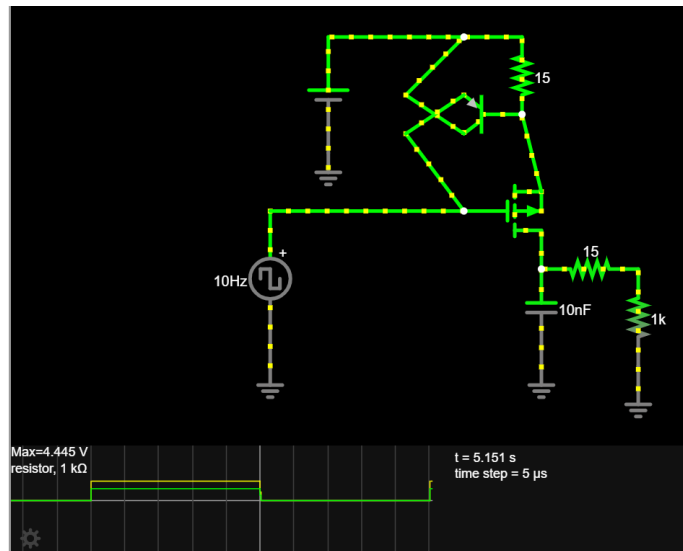


Figura 4. Simulación en Falstad, con un Beta de 80m y un $V_{gs(th)}$ de -3 V para el mosfet canal p.

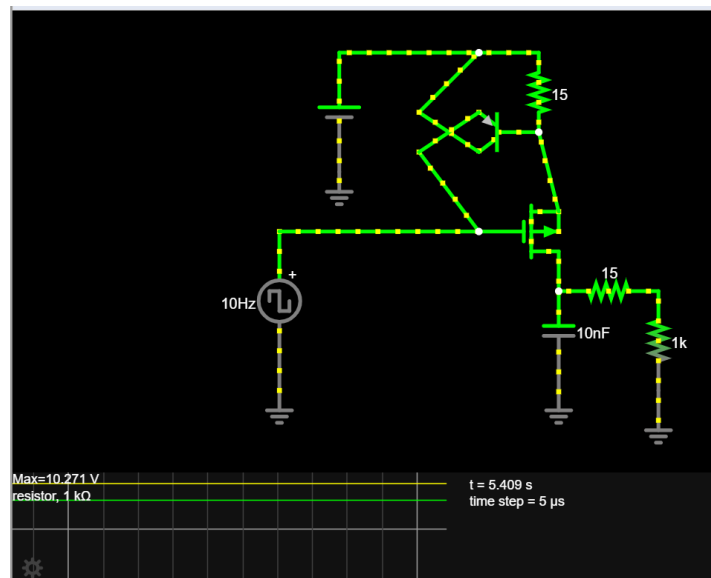


Figura 5. Simulación en Falstad, con un Beta de 80m y un $V_{gs(th)}$ de 3 V para el mosfet canal p

Revisión funcionamiento (físico)

Para realizar la simulación en físico, se utilizaron los componentes disponibles en la universidad, en este caso, el IRF9540 para el mosfet canal p, un transistor de la serie 3906, capacitores y resistencias disponibles y una pequeña placa diseñada para utilizar el XTR111 en protoboard. Dado que en este caso se tenían los parámetros de entrada que utilizó el Ing. Ordóñez, por la documentación de su tesis, para este caso el integrado XTR111 tenía los siguientes valores de entrada:

- Fuente de alimentación de 12 V
- Señal cuadrada entre 0 V y 3.3 V, con ciclo de trabajo del 50%

Con estos datos, que fueron los mismos utilizados para la simulación en LTSpice, se obtuvo un resultado similar al de la simulación en falstad. En este caso se obtuvo una señal con un desfase DC positivo que variaba entre los 5 V y los 6 V, y una atenuación de la señal de salida bastante alta, con una amplitud que no supera los 0.5 mA, comparado con los 3.3 mA esperados. Sin embargo, este valor de salida se logró alterar al deseado por medio de la modificación de ciertos parámetros:

- La resistencia que va al pin SET del XTR11 se cambió de 10k Ohms a 5k Ohms, con lo cual se logró la amplitud deseada (3.3 mA)
- El desfase no se corrigió, pero este se puede corregir con un circuito que tenga dicha función.

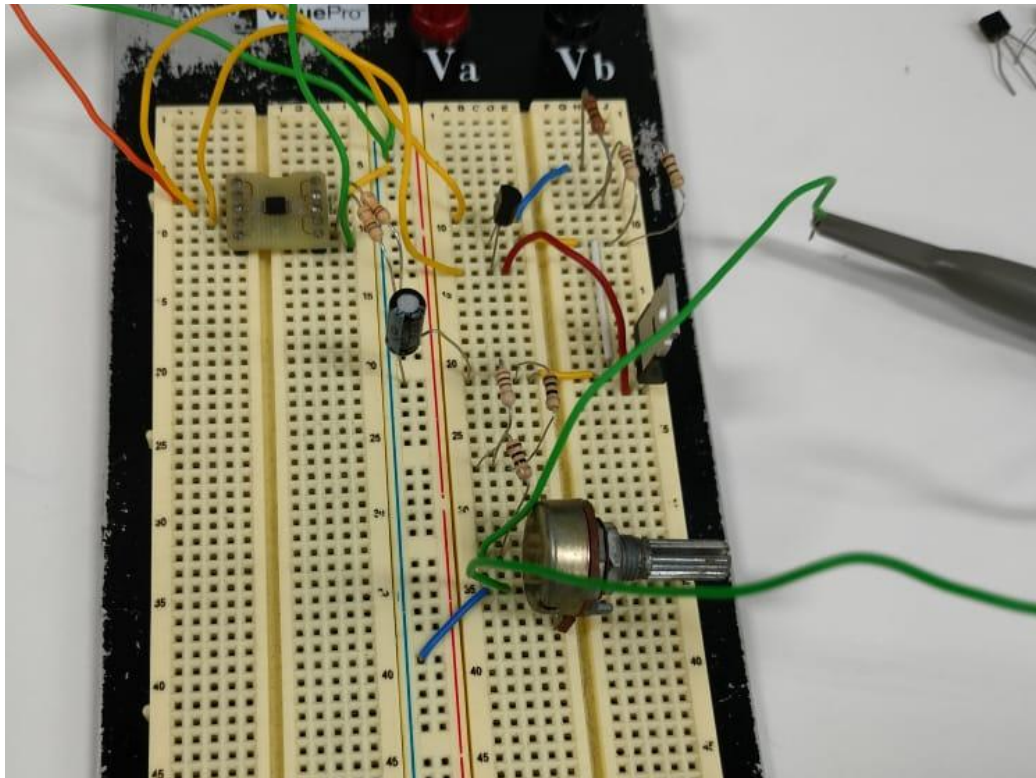


Figura 6. Prueba física de la sección convertidor voltaje a corriente, con componentes de la universidad.

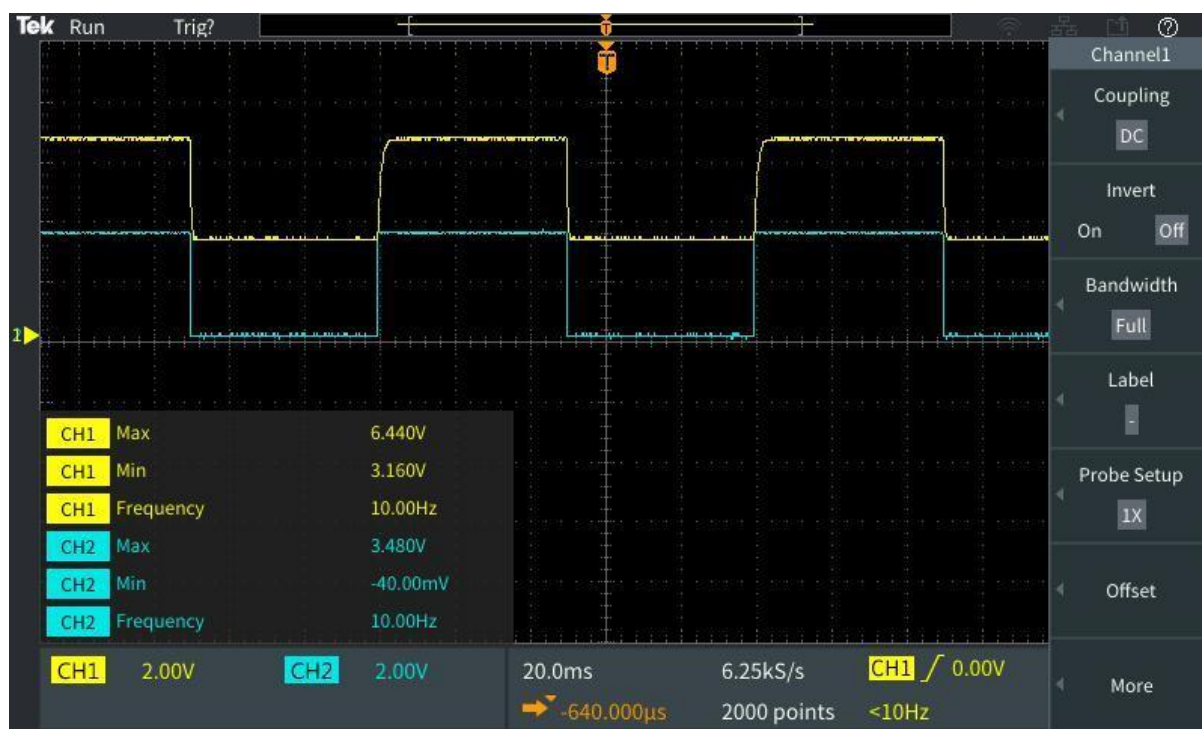


Figura 7. Señal de la prueba física del circuito convertidor voltaje a corriente, con la resistencia SET modificada a 5k Ohms.

Estado actual del hardware (Solo placas)

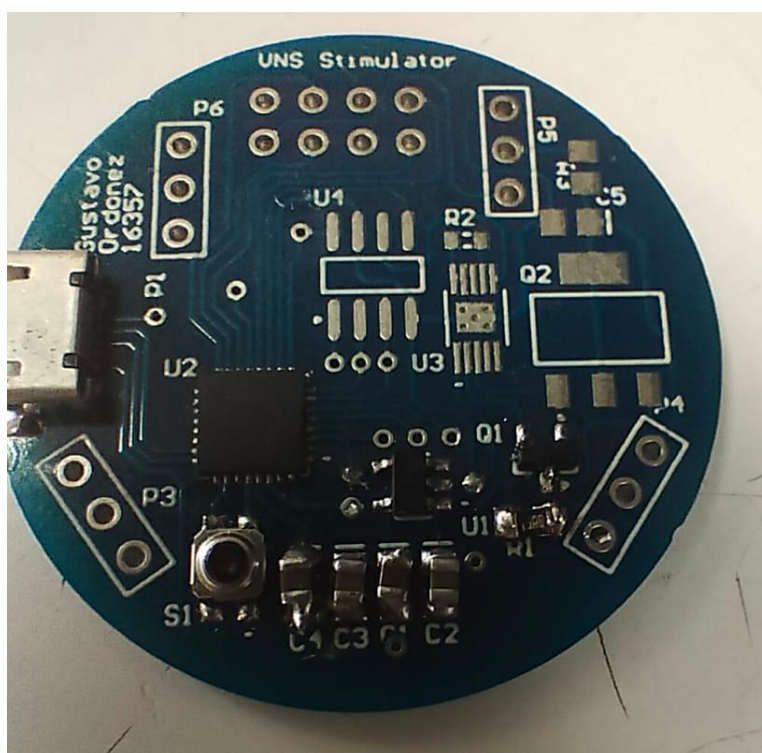


Figura 8. Placa azul sin componentes completos

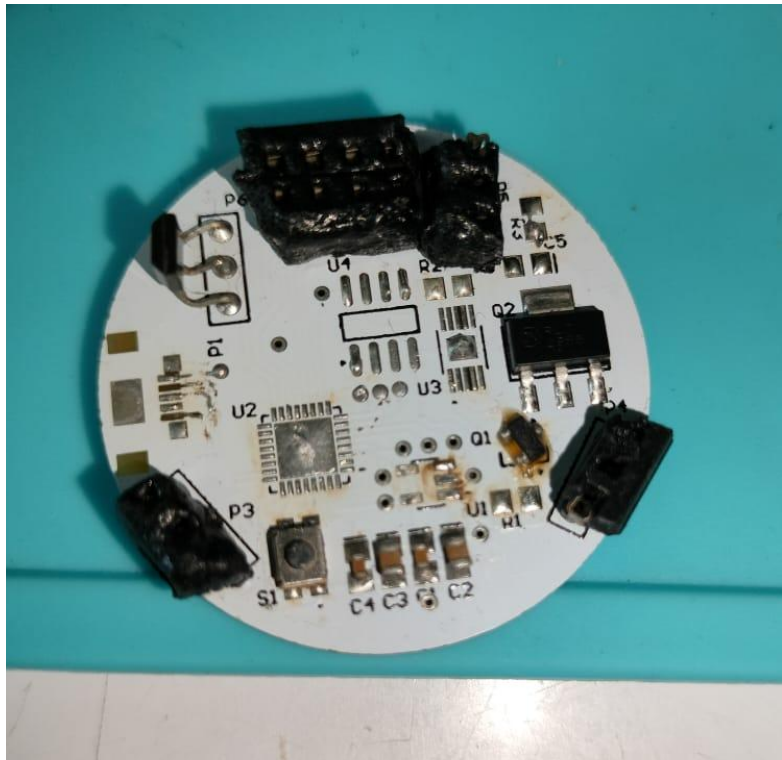


Figura 9. Placa blanca sin componentes completos y pads dañados

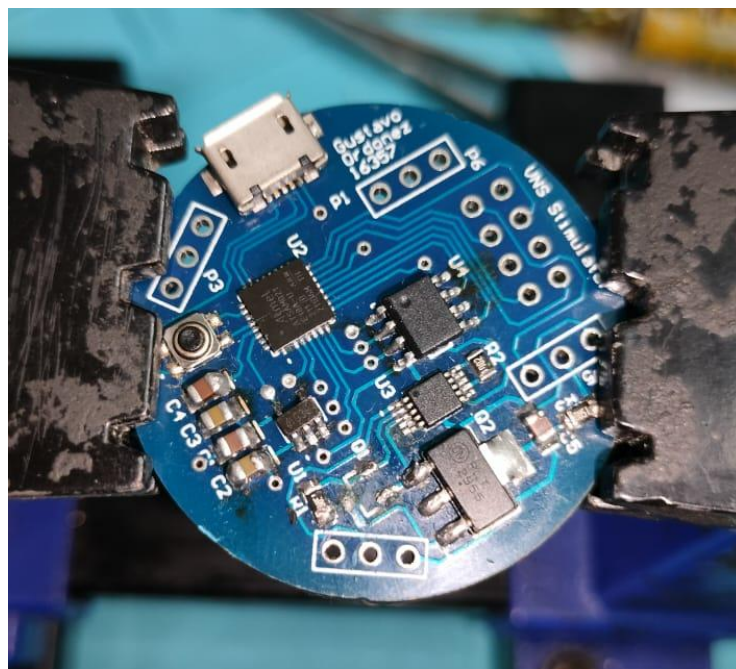


Figura 10. Placa azul completa con pads del Transistor PNP dañados.

Cómo se puede observar en las figuras 8 a la 10, se tienen diferentes tipos de placas, las más comunes son las azules, y son las más confiables porque se aprecia una fabricación mucho más profesional. Asimismo, hay por lo menos 2 placas azules más, las cuales no tienen ningún componente soldado, por lo que se pueden utilizar para hacer las pruebas.

Revisión funcionamiento del resto de componentes

Es importante mencionar que en este caso hubo muchas secciones del estimulador del nervio vago que no fueron probadas. Es claro el caso del potenciómetro digital, el cual puede ser simulado por medio de software. Así también, es importante la generación de los pulsos, el microcontrolador nunca fue probado por sí solo. La única persona que conocí que probó una de las placas fue el Ing. Chocón, quien comentó no haber podido utilizarla. Así como es importante, ya sea buscar o desarrollar modelos simulados para los componentes faltantes.

Discusión

Durante la realización de las pruebas simuladas en software y hardware se encontró con varias inconsistencias respecto a las señales de salida esperada, dado que en LTSpice se obtuvo el resultado esperado, pero en físico no. Sin embargo, al revisar la documentación, se logró identificar que una posible fuente de error está en que existen diferentes tipos de mosfets canal p, entre estos se encuentran una categoría llamada “Enhanced”. Dichos mosfets, a diferencia de los comunes tienen un voltaje $V_{gs(th)}$ positivo, que es el voltaje que existe entre el Gate y el Source de un mosfet, necesario para activar al mosfet. Entonces cuando dicho voltaje cambió de valor en la simulación de Falstad, se pudo observar el comportamiento esperado ($V_{gs(th)}$ negativo) y un comportamiento no esperado ($V_{gs(th)}$ positivo). En el caso del comportamiento no esperado, el valor de salida se mantuvo constante como se puede observar en la figura 5, esto es una salida no funcional, posiblemente como la obtenida en las placas físicas.

Conclusiones

- La corriente de salida depende de la región de transferencia de corriente en la que se encuentre el mosfet.
- Puede haber sucedido una situación de sobrecorriente en el circuito y que al estar mal colocado el transistor, no protegiera como se debía.
- El mosfet podría haber sido conseguido en configuración enhanced, por lo que el voltaje $V_{gs(th)}$ puede estar en una región no esperada
- Si no hay sobrecorriente no se activa el transistor y por ende no afecta el funcionamiento del circuito.

Recomendaciones

- El primer paso para continuar con este proyecto, es entender el funcionamiento de la placa y de sus componentes.
- El segundo paso sería la compra de materiales para realizar pruebas, no se debe aplazar, además así también se puede experimentar con los componentes.
- Es importante revisar los códigos y tratar de cargarlos a la placa, dado que por parte de catedráticos, se recomendó probar que tenemos como señal de salida para la placa.
- Agregar headers macho o hembra a las placas donde se necesita, dado que es en estos pines donde se puede verificar las señales de salida.
- Para poder realizar dichas pruebas es necesario conseguir los componentes que se requieren en el diseño de la placa, pero hacen falta y hay que soldarlos.

- Si se quieren realizar pruebas con otros componentes similares y/o through-hole, se deben conseguir placas perforadas para no perder mucho tiempo en diseñar una placa nueva, si es para una prueba únicamente y no un prototipo.
- Verificar las características de los componentes a utilizar, dado que en el caso del MMFT2955 (MOSFET Canal P), hay versiones en las que aparece el $V_{gs(th)}$ con valores positivos y otras con valores negativos.
- De ser posible, buscar o desarrollar modelos aplicables para simulaciones de todos los componentes presentados en los antecedentes que indican que la placa es funcional.