

Multímetro digital y controlador de motor

Juan Ignacio Navarro Navarro, Jose David Sánchez Schnitzler
email: juannava0208@gmail.com
jose.david.san@gmail.com

19 de abril de 2022

Índice

1. Introducción	1
2. Requerimientos del sistema	2
3. Posibles soluciones	2
3.1. Diagrama de primer nivel	2
3.2. Diagrama de segundo nivel	3
3.3. Diagrama de tercer nivel	4
3.4. Diagrama de cuarto nivel	4
3.4.1. Propuestas ohmímetro	4
3.4.2. Propuestas inductímetro	5
3.4.3. Propuestas voltímetro	6
3.4.4. Propuestas controlador de motor	7
4. Comparación de soluciones	7
4.1. Ohmímetro	7
4.2. Inductímetro	8
4.3. Voltímetro	8
4.4. Controlador de motor	8
5. Propuesta final	9
6. Conclusiones	10

1. Introducción

Los multímetros son dispositivos fundamentales para la comprobación de circuitos y elementos en la electrónica. Para los diferentes tipos de medidas se sabe que existen multímetros analógicos y digitales. Los circuitos que componen estos dispositivos por lo general pasan desapercibidos y es importante conocerlos porque siempre se debe saber que el circuito aplicado puede afectar el resultado de la medición real. En este proyecto se implementó el circuito de un multímetro el cual contiene la capacidad de medir resistencias, inductores y tensiones en corriente directa y alterna.

Además se le añadió al multímetro la capacidad de usar la señal de entrada y una de control para dar la salida de una señal de PWM correspondiente.

2. Requerimientos del sistema

En este proyecto se propone realizar la simulación completa de un multímetro que cuente con varios modos de operación. Los modos deseados y sus características se muestran a continuación:

1. Lectura de resistencias: El objetivo es tener un circuito externo capaz de medir el valor de una resistencia. Se desea que el multímetro sea capaz de identificar la escala de la resistencia por sí solo considerando los siguientes valores:
 - 1Ω - 10Ω .
 - 10Ω - 100Ω .
 - 100Ω - $1k\Omega$.

El resultado del valor de la resistencia debe ser mostrado en dos *displays* de siete segmentos, donde el valor máximo del rango es FF y el valor mínimo es 00.

2. Medidor de inductancia: Se desea que este sea un circuito externo capaz de medir el valor de una inductancia en un solo rango de $1nH$ - $1\mu H$. Se espera que el resultado también sea mostrado en un *display* de siete segmentos, donde el valor máximo del rango es FF y el valor mínimo es 00.
3. Medidor de tensión: Se desea un voltímetro para magnitudes de $5V$ a $10V$ capaz de funcionar para tensiones constantes en el tiempo y para señales variables en el tiempo con una entrada analógica a una frecuencia de $1kHz$.
4. Controlador de un motor: Se desea que el multímetro sea capaz de medir una señal variable en el tiempo y retornar una señal PWM como salida del propio multímetro. Este corresponderá a un módulo integrado al multímetro, pero no de medición.

3. Posibles soluciones

Como parte de las posibles soluciones para estos requerimientos se plantearon diferentes diagramas de la solución general y las distintas ramificaciones que esta tuvo hasta su desarrollo final. A continuación se detallan estos diagramas por niveles.

3.1. Diagrama de primer nivel

Este diagrama se puede observar en la figura 1. Note que se trata de una descripción general de las entradas y salidas de todo el circuito como se especificó en los requerimientos. En general se tiene la siguiente descripción para las entradas y salidas.

- ch1, ch2: estas corresponden a las conexiones de medición del multímetro, se deben conectar delimitando los extremos de la medición deseada.

- control: esta es una señal necesaria para el desarrollo de la señal pwm integrada al multímetro, a partir de la tensión dada en esta entrada se va a variar el periodo de esta señal de salida.
- select: corresponde a una señal de selección que determina cuál de las mediciones se va a mostrar en el *display* de siete segmentos.

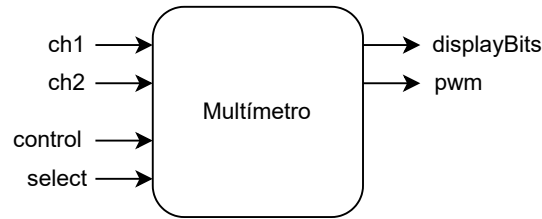


Figura 1: Diagrama de primer nivel de la solución general.

3.2. Diagrama de segundo nivel

En este diagrama se observa una subdivisión del diagrama de primer nivel en bloques que indican las principales funcionalidades del problema. Se puede observar las distintas etapas que necesita el circuito para estar completo y cómo estas coinciden con las solicitadas en la descripción del problema. El diagrama corresponde al de la figura 2.

Una breve explicación de la funcionalidad de cada uno de los módulos se muestra a continuación:

- Ohmímetro: este corresponde a un módulo que espera recibir como entrada una resistencia en el rango de 1Ω a $1k\Omega$ y su salida es el valor de la resistencia en hexadecimal, según la escala definida en la sección de requerimientos.
- Inductímetro: funciona de igual manera que el ohmímetro pero con el objetivo de medir el valor de un inductor.
- Voltímetro: este busca medir tensiones en DC y AC para mostrarlas su valor en hexadecimal.
- Controlador de motor: este es el módulo especializado del multímetro que toma una señal alterna, otra de control y genera una señal de impulso que altera la señal de entrada, al tener distintos tiempos en su periodo.
- Control: este módulo se encarga de escoger entre los resultados obtenidos, el deseado por el usuario.
- Display: este módulo es el encargado de mostrar los resultados en un display de siete segmentos.

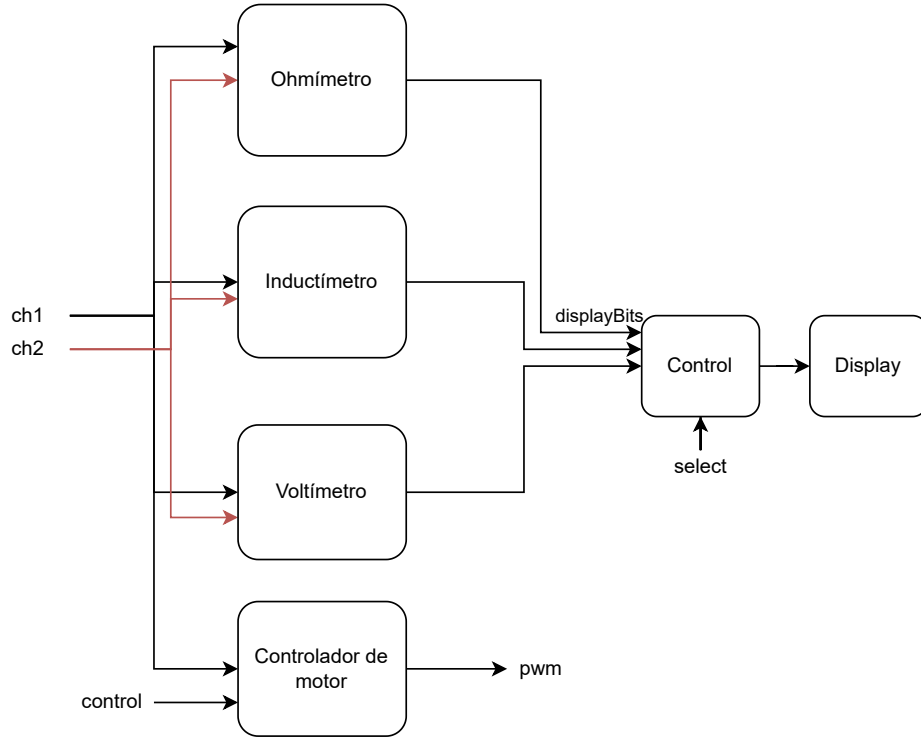


Figura 2: Diagrama de segundo nivel de la solución general.

3.3. Diagrama de tercer nivel

El diagrama de este nivel se puede observar en la figura 3. En este se muestra a grandes rasgos los componentes (o conjunto de componentes) que permiten las funcionalidades propuestas en el diagrama de segundo nivel. Por ejemplo se destaca en el ohmímetro el módulo ADC que corresponde a la parte específica del ohmímetro que utiliza un convertidor analógico-digital. Los detalles de estos circuitos se explicarán en los diagramas de cuarto nivel.

3.4. Diagrama de cuarto nivel

A continuación se muestran los detalles de cada uno de los circuitos propuestos para cada uno de los módulos.

3.4.1. Propuestas ohmímetro

Para el caso del ohmímetro se presentaron dos propuestas. La primera corresponde a la mostrada en la figura 4. En esta se especifica una etapa de división de tensión, la cual como se puede ver marcada por círculos blancos contiene a la resistencia que se desea medir. Esta propuesta compara la tensión obtenida por la resistencia de medición con diferentes tensiones V_{ref} , las cuales son las que se obtendrían en los límites de los rangos propuestos. Esta comparación se hace usando la topología de comparador en un amplificador operacional, además se si se llega a tener la tensión deseada por medio de transistores se forma un divisor de tensión cada vez más grande, conforme mayor la resistencia del divisor de tensión, mayor será la tensión conectada a la patilla V_{ref}

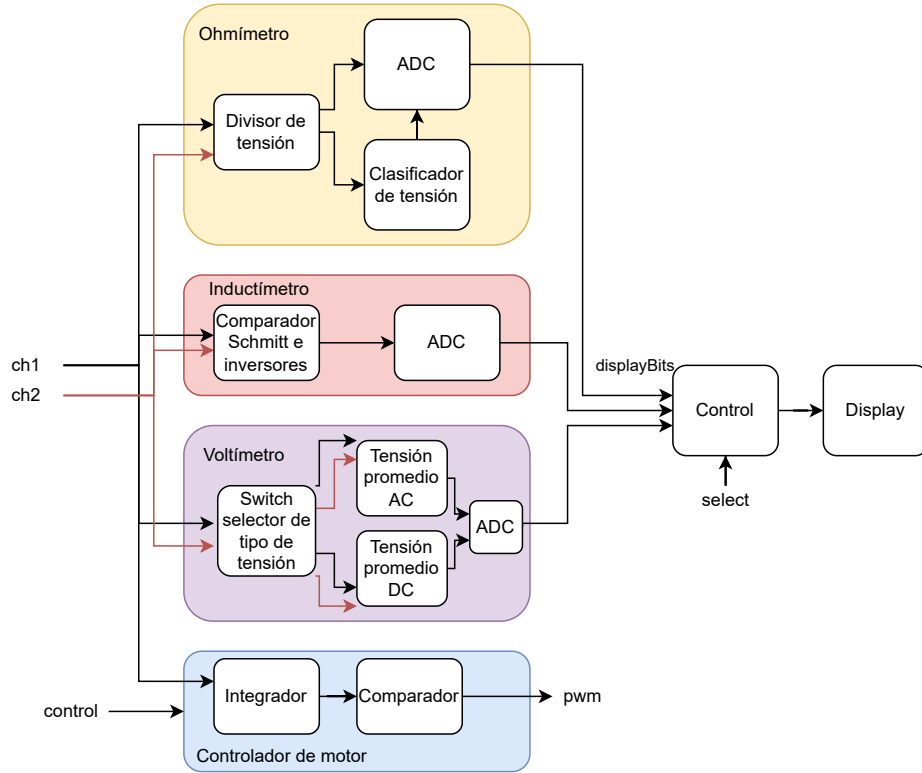


Figura 3: Diagrama de tercer nivel de la solución general.

del convertidor analógico digital. Esta comparación dinámica de las tensiones permite realizar un cambio automático de escala en el multímetro.

La segunda propuesta para el ohmímetro se basa en el mismo concepto, pero en este caso los comparadores se ven alimentados por las mismas tensiones del circuito. Si se analiza cada uno de los comparadores se puede llegar a que se usará como tensión de referencia alguno de las tensiones obtenidas en el divisor de tensión de las resistencias de referencia de 900Ω , 90Ω y 9Ω .

3.4.2. Propuestas inductímetro

Para esta etapa se presentan dos propuestas muy similares cuya idea general consiste en implementar divisores de tensión y amplificadores operacionales en configuración de comparador para así obtener una señal limpia que pueda ser manejada en relación a un elemento pasivo como lo es el inductor.

Ejecutando la investigación sobre cómo relacionar la unidad henrio directamente con una unidad de tensión como lo es el voltio, se descubre que hay un circuito integrado basado en amplificadores comparadores y divisores de tensión llamado Disparador Schmitt o "Schmitt Trigger" de su nombre en inglés [3]. Su funcionalidad consiste en proporcionar dos niveles de salida ya sea alto o bajo independientemente de que su entrada sea una señal analógica con una alta fluctuación de valores. Dicho circuito se puede observar en la figura 6.

Gracias a este circuito integrado se logra diseñar una solución para relacionar las unidades previamente mencionadas. De esta manera se obtiene el circuito de la figura 7 integrando los

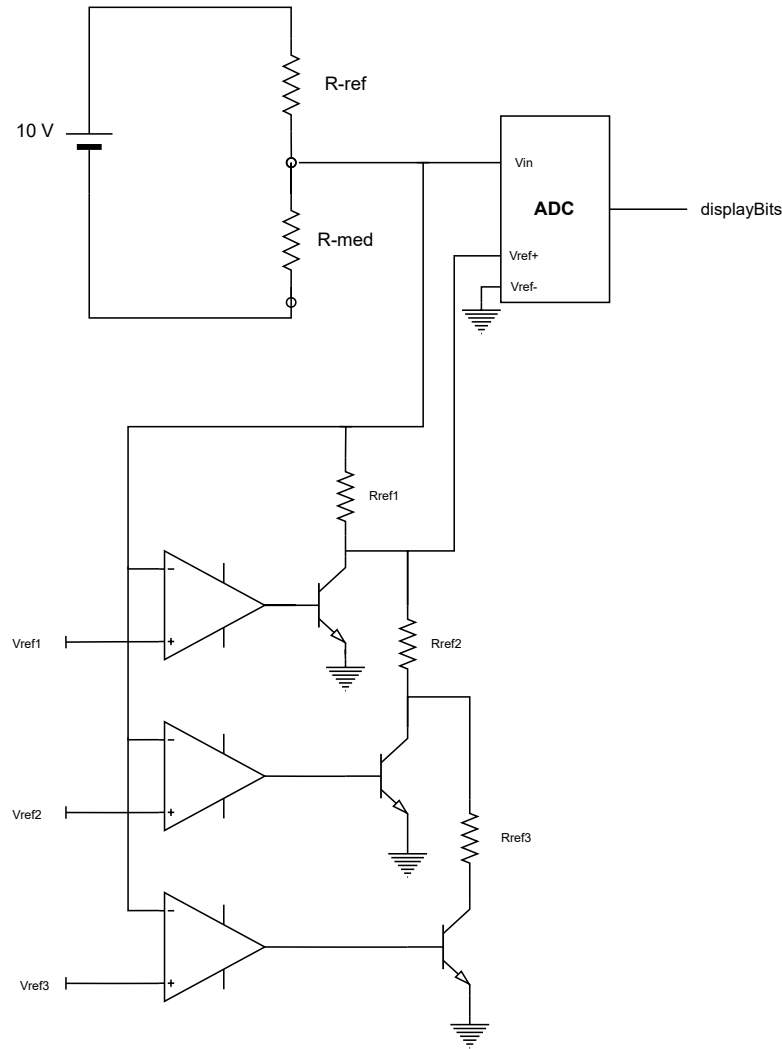


Figura 4: Diagrama de cuarto nivel de la primera propuesta del módulo del ohmímetro.

Schmitt Triggers aplicando una etapa de inversión a la salida de cada uno de ellos.

3.4.3. Propuestas voltímetro

Para esta etapa en la que se desea desarrollar un voltímetro se presenta una idea bastante simple la cual es aplicar un convertidor de señal analógica a digital (ADC) al cual le entre la señal analógica en corriente alterna CA y así obtener su valor promedio en corriente directa CD en su salida como se muestra en la figura 8.

Como segunda propuesta se presenta un circuito más complejo el cual consiste en implementar etapas de rectificación de una señal CA, y seguidamente implementar etapas de filtrado y regulación de tensión para obtener un promedio RMS en CD de la señal original CA. Este circuito se muestra en la figura 9.

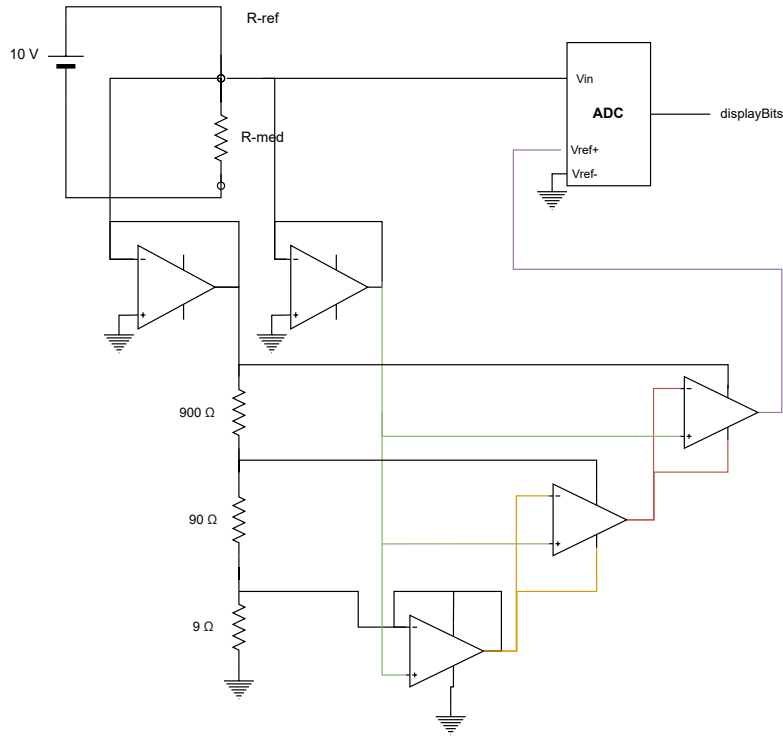


Figura 5: Diagrama de cuarto nivel de la segunda propuesta del módulo del ohmímetro.

3.4.4. Propuestas controlador de motor

Para este módulo se presentaron dos propuestas similares, en general se resumen en la figura 10. Como se puede comparar con el diagrama de tercer nivel, se muestra un circuito integrador seguido de uno comparador. Ambos en conjunto son capaces de cambiar los tiempos en los que una señal de reloj pasa en su etapa positiva y negativa. Este cambio se puede controlar por medio de la señal de control. La segunda propuesta incluye un filtro pasa bajas en la salida para que no se tenga ruido y la salida sea solamente una tensión CD variable.

4. Comparación de soluciones

A continuación se mostrarán los criterios de comparación de las soluciones propuestas y su respectiva escogencia.

4.1. Ohmímetro

Para el caso de este módulo se implementaron ambos circuitos en el simulador y se obtuvo que la primera propuesta es la que funciona correctamente. En el caso de la segunda, a pesar de contar con un respaldo teórico, no funciona como se espera ya que la alimentación en los amplificadores operacionales tiene un mínimo y como se ve en la figura 5 la alimentación del primer comparador es casi 0V (considerando la diferencia de tensión entre las dos patillas de alimentación del comparador). La primera propuesta igual necesitó de ajustes en los valores de las resistencias pero en general la

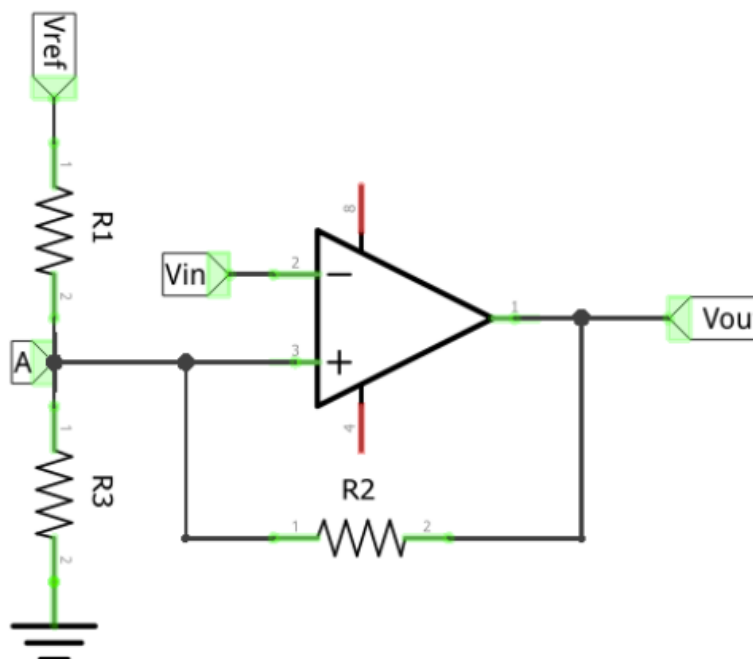


Figura 6: Esquemático del circuito integrado Disparador Schmitt [4].

idea continuó siendo la misma.

4.2. Inductímetro

Para el caso del módulo para medir inductancias se procede a implementar un circuito basado en divisor de tensiones y amplificadores operacionales comparadores integrados en el circuito Schmitt Trigger. De primera mano se da una respuesta positiva en cuanto a la relación de la unidad de tensión de la salida del circuito y el valor de la inductancia de la bobina en henrios. Es por esta razón que no se busca una segunda solución ya que la primera cumple su funcionamiento a la medida.

4.3. Voltímetro

Para esta etapa se implementan ambas soluciones y se obtuvo que la segunda propuesta es la que funciona correctamente ya que la primera en vez de obtener un valor promedio de tensión RMS va a mostrar una fluctuación de valores inestables en CD. Por otro lado, al implementar la segunda solución se obtiene un valor fijo de corriente directa y bastante estable que relaciona de manera acertada el valor RMS de la señal analógica CA con la señal digital CD en la salida. Siempre considerando las especificaciones del proyecto, dichas mediciones deben ser en valores de 5V a 10V.

4.4. Controlador de motor

Para el caso del controlador de motor se implementó el controlador sin el filtro pasa bajas y con el filtro. Se determinó que ambos controladores funcionan de la misma forma con o sin filtro,

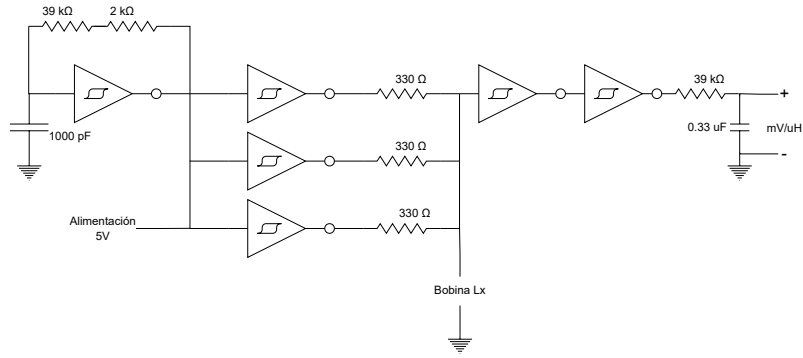


Figura 7: Diagrama de cuarto nivel de la primera propuesta del módulo del inductímetro.

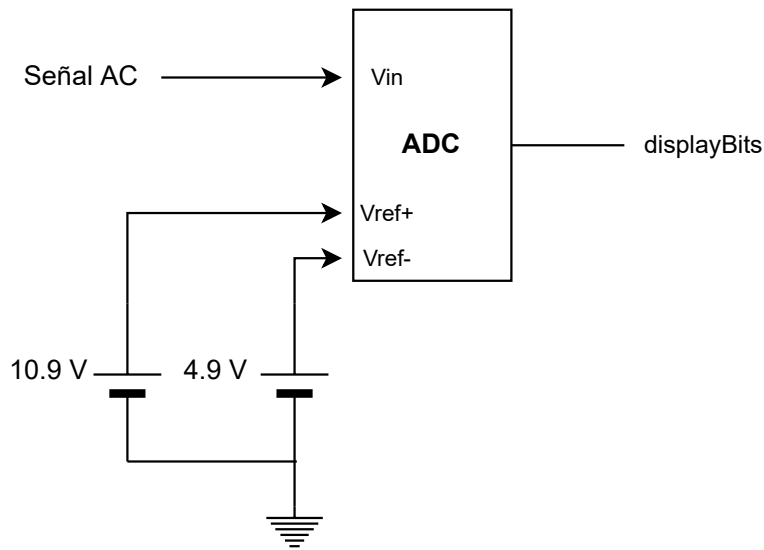


Figura 8: Diagrama de cuarto nivel de la primera propuesta del módulo del voltímetro.

al menos en el simulador. Es por esto que se decidió dejar la implementación sin filtro para tener ahorro de recursos.

5. Propuesta final

Basado en las posibles soluciones y sus respectivas comparaciones se llegó se implementaron las siguientes opciones de los circuitos propuestos:

- Ohmímetro: se implementó la propuesta que utiliza transistores, que se encuentra en la figura 4. Como se explicó en la sección anterior fue la que funcionó como se esperaba.
- Inductímetro: ya que la primera propuesta ejecuta un a relación óptima entre inductancia y tensión en el elemento inductivo que se quiere medir por medio de los "Schmitt Triggers." entonces se establece dicha propuesta como solución final para esta etapa.

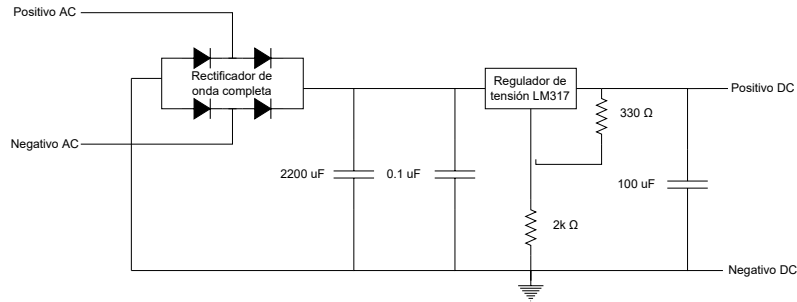


Figura 9: Diagrama de cuarto nivel de la segunda propuesta del módulo del voltímetro.

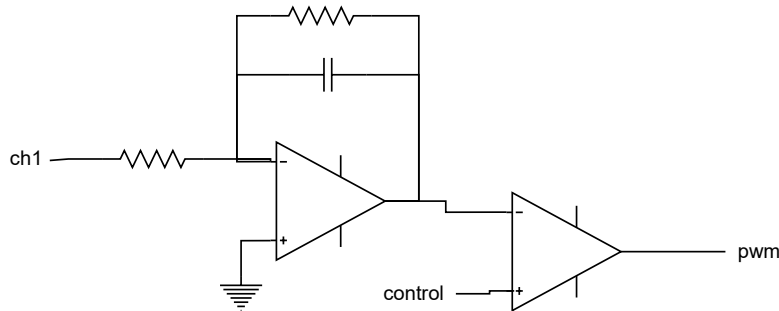


Figura 10: Diagrama de cuarto nivel de la primera propuesta del módulo controlador de motor.

- Voltímetro: Se escoge la segunda propuesta ya que rectificando la onda y filtrándola para generar una tensión de salida en CD se puede obtener un valor RMS preciso de una señal en CA.
- Controlador de motor: la implementación final es la que no posee el filtro pasa bajas.

6. Conclusiones

Los amplificadores operacionales son extremadamente versátiles debido a que dependiendo de la cantidad y configuraciones que se les aplique se pueden generar circuitos con infinitas funcionalidades. Lo mismo sucede para este proyecto, la idea de encontrar un diseño que cumpla con los requerimientos implementando distintos tipos de circuitos fomenta la capacidad y desarrollo del razonamiento crítico ingenieril.

Por otro lado, se aprecia que es común en los multímetros digitales contar pocas unidades de medición además de escalas reducidas como por ejemplo un dispositivo que solamente obtenga mediciones de tensión y corriente directa (CD), medición de resistencias. Es gracias a este proyecto que se aprecia de manera muy dinámica que es posible construir un multímetro que mida muchas más unidades con un margen mayor de escalas y que no tenga que ser de un costo económico elevado como los multímetros especializados y profesionales disponibles en la industria.

Se destaca también la importancia del diseño modular en proyectos como este. Las propuestas de la solución por etapas facilita la implementación y prueba del circuito. Esta técnica además permite plantear diferentes propuestas para el circuito sin necesidad de tener que hacer todo el

circuito de nuevo, solamente se corrige el módulo deseado.

Referencias

- [1] “Convertidores”, notas del curso CE 4202, Área Académica Ingeniería en Computadores, Instituto Tecnológico de Costa Rica. I Semestre, 2022.
- [2] Condori, R. (2014) *Convertidor ADC, DAC*. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=BFwF1rAK9Ylist> = *PLBfrypdGU3RBCY9cUvS0zmhbQDbZnDLZzindex* = *5abchannel* = *RuliReinaldoCondoriCcacya*
- [3] Electronics-DIY.com. *Inductance Meter*. 2022. Consultado el: 7 de abril del 2022. Disponible en: <http://electronics-diy.com/inductance-meter.php>
- [4] Carrasco, D. *Schmitt Trigger: Qué es y para qué sirve*. 15 de marzo, 2020. Consultado el: 8 de abril del 2022. Disponible en: <https://www.electrosoftcloud.com/schmitt-trigger-que-es/>