

TENSIONES DIFERENCIALES

David Arturo Gutiérrez Begovich M. en C.
dgutierrezb@ipn.mx
Janet Argüello García M. en C.
jarguello@ipn.mx
Miguel Ángel Rodríguez Fuentes M. en C.
mrodriguezf@ipn.mx

UPIITA-IPN

Abstract

In this work, general aspects about definitions of electrical voltage's values in a node and multiple nodes of a circuit will be described, and through them, to explain what differential voltages are and some options for their measurement will be explained. Also, different examples are presented in which it is identified why it is not always convenient to use traditional measurement instruments such as the multimeter and the oscilloscope, to achieve this, the resistive part of the oscilloscope's impedance is applied in order to show that using this instrument indiscriminately on a circuit can generate measurement errors by altering the output impedance of the electrical system. Finally, from the examples with resistive circuits, the explanation can be extended to other electrical systems such as biological entities, in which it is concluded about the need to use analog acquisition systems, employing operational amplifiers and from them, the differential amplifiers circuits, which will be shown in another work.

Introducción

En este trabajo se describirán los aspectos generales sobre las definiciones de los valores de tensión eléctrica en un nodo y múltiples nodos de un circuito, para que después de abordados se explique qué son las tensiones diferenciales y algunas opciones para su medición. También, se presentan diferentes ejemplos en los que se identifica por qué no siempre es lo más conveniente efectuar mediciones utilizando los instrumentos de medición tradicionales como los son el multímetro y el osciloscopio, para lograrlo, se hace uso de la parte resistiva de la impedancia de entrada del osciloscopio y se demuestra que usar este instrumento de forma indiscriminada sobre un circuito puede generar errores de medición por alterar la impedancia de salida del sistema eléctrico de interés. Finalmente, a partir de los ejemplos con circuitos resistivos se puede extender la explicación a otros sistemas eléctricos como los entes biológicos en los que se concluye sobre la necesidad de utilizar sistemas de adquisición analógica mediante los amplificadores operacionales y a partir de ellos los circuitos diferenciales, los cuales se abordarán en otro trabajo.

1. Una definición de Tensión Eléctrica

En la mayoría de los circuitos se requiere una fuente de energía externa para mover cargas. Por lo tanto, el circuito debe incluir un dispositivo que mantenga una diferencia de potencial entre dos puntos de este. Cualquier aparato que lleve a cabo esta tarea en un circuito eléctrico recibe el nombre de fuente de fuerza electromotriz (FEM), algunos ejemplos son: una batería; un generador eléctrico, las celdas solares, las termopilas, y hasta en los sistemas biológicos, el corazón humano es uno de ellos. (Resnick, 1994, p.137).

2. La Tensión Diferencial

Ahora, para comprender de manera más fácil a la tensión diferencial, es conveniente entender que en un sistema eléctrico que tiene una referencia de tensión se pueden tener diferentes puntos de medición que se encuentran localizados en los nodos de éste y que para conocer su magnitud, se

puede utilizar un instrumento de medición (apropiado al tipo de tensión que se maneje, alterna o directa) con el que se mida la magnitud de la señal (y fase de la señal, de ser necesario) desde ese punto hasta la referencia. Es una práctica común y favorable enumerar a los nodos de interés con la letra V y con un subíndice, por ejemplo, si un nodo se llama "a", entonces la tensión eléctrica desde ese punto hasta la referencia será la etiquetaremos como V_a .

En la figura 1.1 se muestra una fuente de tensión conectada a la referencia y con la nomenclatura mencionada para el nodo enumerado como V_x , se puede apreciar que desde ese punto hasta la referencia la tensión que se puede medir (demostrada en la figura 1.2) es de -12 V debido a como se conectó la fuente de tensión con respecto a sus marcas de polaridad con respecto a la referencia.

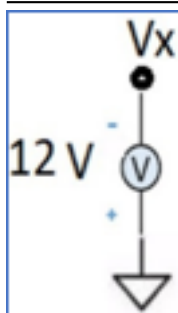


Figura 1.1. Fuente de tensión referenciada.

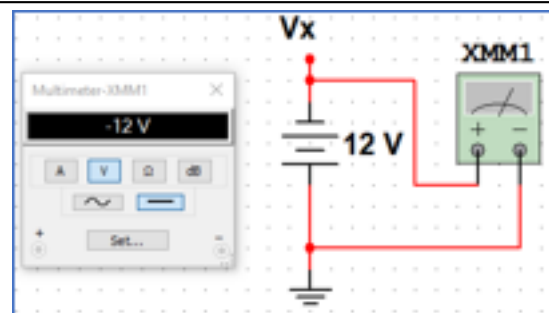


Figura 1.2. Simulación de la Medición de V_x .

Ahora para el caso de un circuito que tiene más nodos, a cada uno de ellos se les puede enumerar con los subíndices y pueden ser medidos independientemente con respecto a la referencia. El siguiente diagrama eléctrico ejemplifica este caso, en el que se hicieron las mediciones de cada uno de los nodos que aparecen, sin embargo, sin embargo, cuando se requiere hacer la medición entre dos nodos con respecto a la referencia, es distinto. A este caso se le conoce como Tensión diferencial, que es proporcional al trabajo requerido para mover carga eléctrica de una terminal a otra, y la nomenclatura para referirse es uniendo los subíndices y haciendo la operación de resta de la tensión del primer subíndice menos la tensión del segundo subíndice. (Sadiku, 2013 p.8) (Dorf, 2011, p. 7).

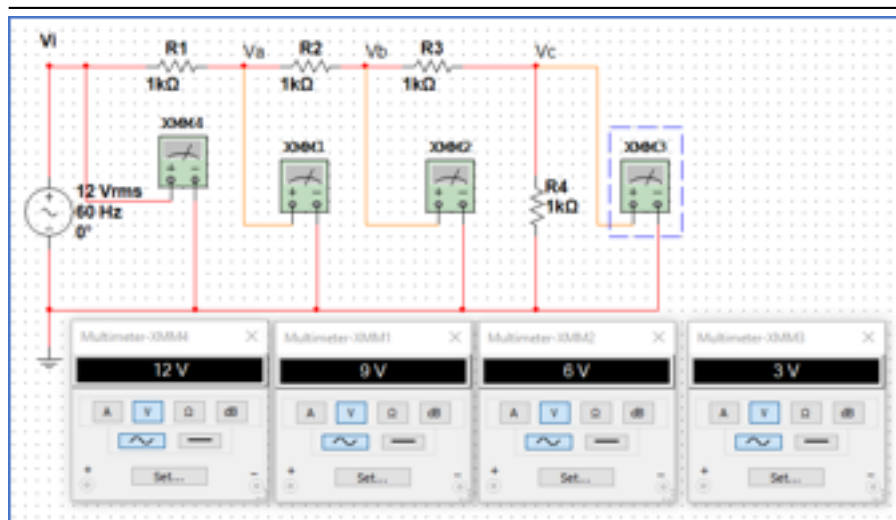


Figura 2. Circuito eléctrico con múltiples nodos.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos del circuito mostrado en la figura anterior, si se desea conocer la tensión diferencial entre los nodos marcados como V_a y V_c , la nomenclatura debe ser:

$$V_{ac} = V_a - V_c = 9 V_{rms} - 3 V_{rms} = 6 V_{rms}.$$

También para ese mismo ejemplo, es posible utilizar el multímetro porque se trata de una señal senoidal a 60 Hz, sin embargo, de tratarse de otras formas de onda y otras frecuencias, no sería posible obtener la diferencia con un multímetro simple, se debería hacer con un instrumento como el osciloscopio como se representa en la Figura 3.1 y la Figura 3.2.

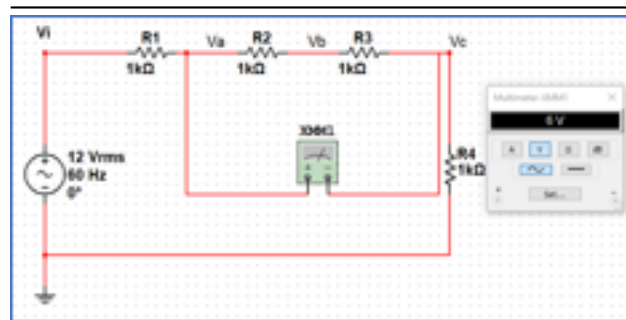


Figura 3.1. Medición de V_{ac} con multímetro.

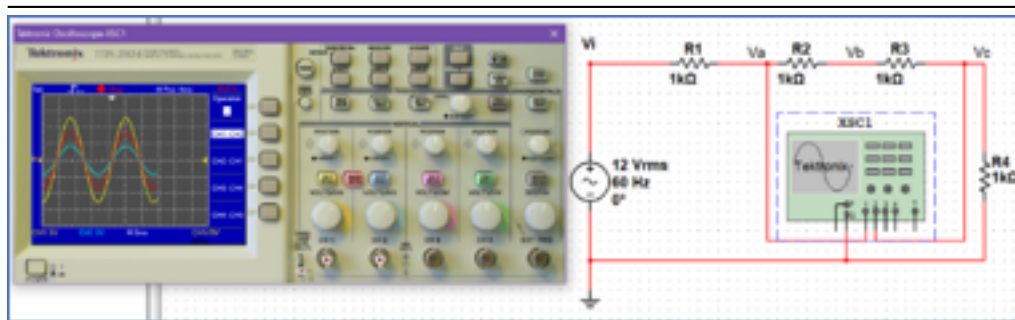


Figura 3.2. Medición de V_{ac} con osciloscopio.

El resultado de la medición con osciloscopio se aprecia con la gráfica roja, que corresponde a $6 V_{rms} = 8.48 V_p$.

Sin embargo, a pesar de que se cuenta con instrumentos que pueden hacer las mediciones, esto no es funcional si lo que se desea es procesar la información que se obtiene al hacer la diferencia de tensiones que se encuentran en un circuito con la misma referencia de tensión, o en el caso de que se vea modificado el sistema de interés al conectar estos instrumentos de medición debido a las impedancias de entrada que presentan.

La situación de la alteración del circuito de interés (el de la figura 2) se puede ver modificando sus valores resistivos que lo conforman, por ejemplo, utilizando valores de $470 \text{ k}\Omega$ (en lugar de $1 \text{ k}\Omega$) y la frecuencia de la señal de excitación de 2 kHz.

En la figura 4 se ilustra la medición realizada con estos cambios, para evitar la situación de que las simulaciones son ideales, se le agregó al osciloscopio la parte resistiva que en realidad tiene a su

entrada, $1\text{ k}\Omega$. También se omite el uso del multímetro porque de forma general son pocos los modelos que cuentan con la opción True RMS, y para esta frecuencia no se tendría una medición correcta ni usándolo de forma ideal.

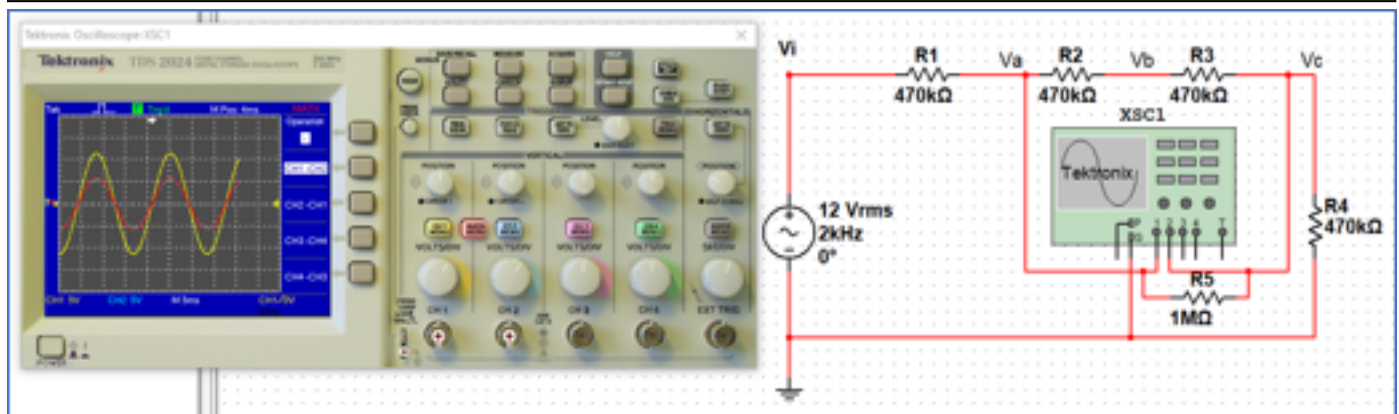


Figura 4. Error de medición por acoplamiento de impedancias.

Como resultado de la medición de la diferencia de tensión con el osciloscopio se puede ver que, debido al mal acoplamiento de impedancias, la tensión resultante $V_{ac} = 3\text{ Vrms}$, que es la mitad del resultado real que hay entre esos dos nodos.

También existen otros casos, por ejemplo, en las células o en señales eléctricas (iónicas) fisiológicas que se adquieren a partir de la piel, como la electrocardiográfica (ECG), en los que aparte de que el sistema eléctrico tiene alta impedancia de salida (con respecto a la impedancia de los instrumentos mencionados), presentan tensiones en el orden de los milivolts o menores, además de la susceptibilidad al ruido en modo común, que estos instrumentos básicos de medición no atenúan.

Para ejemplificar, en la siguiente figura se muestra la relación que hay entre la impedancia de la piel humana y un intervalo de frecuencias que van de 1 Hz a 1 MHz. Se puede resaltar que la impedancia de la piel en las frecuencias que van de 1 Hz a 1 kHz se encuentra en un intervalo de $10\text{ k}\Omega$ a $1\text{ k}\Omega$.

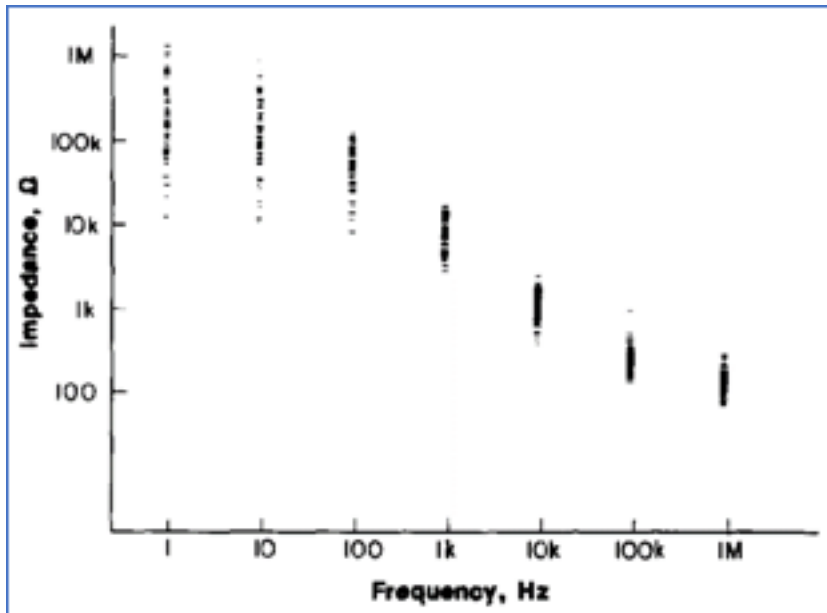


Figura 5. Valores de la impedancia de la piel humana con respecto a la frecuencia. (Rosell, 1988, p. 651)

Continuando con sistemas eléctricos con tensiones diferenciales, en el siguiente diagrama se muestran el ejemplo de la señal ECG (Canal I de Einthoven), ilustrando los puntos en los que se colocan los electrodos para hacer la adquisición analógica de ésta a través de la piel.

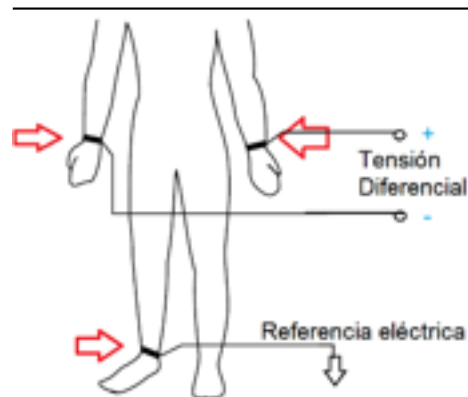


Figura 5. Puntos de adquisición de la señal ECG canal I de Einthoven.

Cabe aclarar que al usar electrodos superficiales para la adquisición de la señal ECG la impedancia de la piel no es la única que tiene que ser considerada, a ésta, se le suma la impedancia propia del electrodo y la impedancia de la interfaz electrodo piel, lo que aumenta la impedancia total y reafirma que la señal no debe ser medida con un instrumento como el osciloscopio.

Finalmente, es fundamental recalcar que como se aprecia en la figura anterior, la señal a recolectar es una tensión diferencial que debe ser procesada por circuitos analógicos específicos, iniciando por los amplificadores diferenciales, debido a que dentro de sus múltiples características prácticamente no alteran la señal de interés.

Conclusiones

Cuando se analizan los circuitos eléctricos, es fácil identificar a través de los teoremas los valores resultantes que debe haber en algunos elementos, sin embargo, eso es funcional cuando se tienen todos los valores tanto de las fuentes de energía así como de los componentes que se están planteando.

Al encontrarse con un sistema real, no todos los elementos son plenamente conocidos y se deben utilizar instrumentos de medición para recolectar la información deseada.

En ocasiones resulta ineficiente medir la tensión de algunos de los nodos del circuito con respecto a la referencia porque puede que se requiera medir la tensión diferencial que hay entre dos nodos con respecto a la referencia, por lo que se debe recurrir a un instrumento que tenga esa característica.

Existen instrumentos de laboratorio que presentan una impedancia de entrada relativamente alta y al utilizarlos para medir partes de los sistemas eléctricos que tienen una alta impedancia de salida, éstos alteran al circuito distorsionando el valor real de la señal de interés, además de que cuando se requiere procesar la señal, no sirve continuar midiendo con un instrumento.

Para adquirir una señal analógica diferencial sin alterarlo por desacoplamiento de impedancias, se recurre a los amplificadores operacionales, particularmente a los amplificadores diferenciales.

Referencias

1. Dorf, R. y Svoboda, J. (2011). *Circuitos Eléctricos*. (Octava edición). Alfaomega Grupo Editor.
2. Resnick, R. Hallida, D. y Krane, K. (1994). *Física volumen. 2*. versión ampliada (cuarta edición). Compañía Editorial Continental.
3. Rossell, J. Colominas, J. Riu, P. Pallas, R. Webster, J. (1988). *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*. VOL. 35, NO. 8, AUGUST 1988.
4. Sadiku, M. y alexander, Ch. (2013). *Título del artículo Fundamentos de Circuitos Eléctricos*. Eléctricos (tercera edición). McGraw-Hill / Interamericana Editores.