

Acople DC y AC

Aparente anomalía observada en el osciloscopio

I. Caso hermoso

Para contextualizar un poco primero, como se les dijo en la experiencia el acople DC¹ muestra la señal de voltaje que existe en el punto que están midiendo respecto a su referencia. El osciloscopio no hace ningún tratamiento especial para ello, solo muestra el voltaje que existe. Debido a esto, al momento de leer una señal que varía en el tiempo es muy probable que exista un *offset*; una línea imaginaria que representa un nivel de voltaje respecto a la cual el voltaje oscila, como lo que se ve en la parte (a) de la Figura 1. Noten que este *offset*, lo que se indica como la componente DC de la señal, es simplemente el promedio de la señal en el tiempo, el que no es cero en este caso. Ahora, al cambiar al acople AC², el osciloscopio debe hacer *algo* que permita restar esta componente DC de la señal, dejando solo su componente AC. Es decir, el osciloscopio ahora solo muestra en pantalla las variaciones de la señal, algo así como *centrarla en cero*, como lo que se observa en la parte (b) de la Figura 1.

Para poner algo de matemática a la cosa, piensen que en la parte (a) se muestra un

$$V(t) = B + A \sin(\omega t)$$

Por lo que B es el promedio de la señal, su componente DC. En la parte (b) entonces se resta el promedio de forma que se muestra

$$V_{AC}(t) = V(t) - \bar{V} = (B + A \sin(\omega t)) - B = A \sin(\omega t)$$

Dejando así solo la parte alternante.

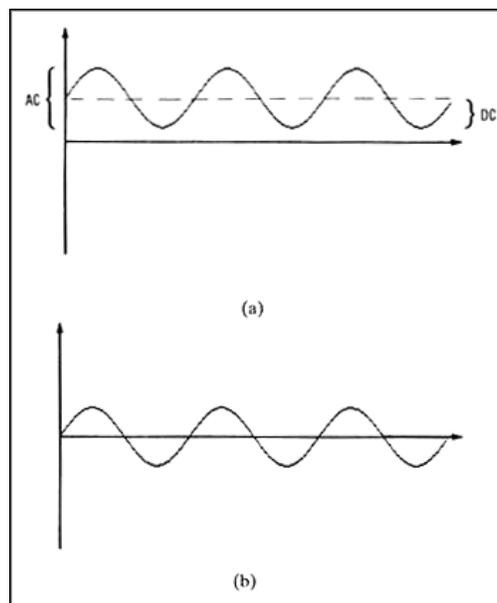


Figura 1: Acople DC y AC para una sinusoide.

¹Direct Current.

²Alternating Current.

II. Caso feo

Hasta ahora todo hermoso, pero bueno ¿Qué sucede entonces con lo que se vio en el laboratorio!? Observen la Figura 2 en donde se tiene el mismo problema que en el laboratorio. Obtenemos una señal como en la parte (a) al medir con acople DC, que no está centrada en cero, y al acoplar en AC se espera que simplemente se reste el promedio como el caso hermoso anterior y se observe algo como en la parte (b), donde la señal se corrió hacia abajo preservando su forma. Sin embargo, lo que se observa en el osciloscopio es lo que se ve en la parte (c), donde nuestras líneas horizontales perfectas ahora tienen una variación que no existía antes.

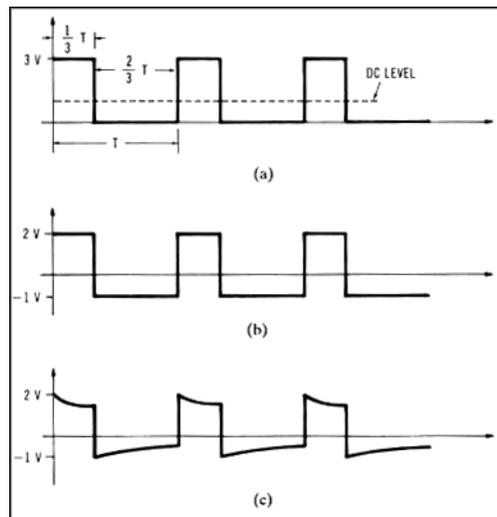


Figura 2: Acople DC y AC para una onda cuadrada.

Por supuesto hay una explicación corta: el osciloscopio realiza un filtrado pasa-alto que atenúa las componentes de baja frecuencia de la onda cuadrada, provocando la distorsión de las líneas rectas (*ok...*). Como no llegué hasta acá para lavarme las manos así, intentaré acercar la explicación a ustedes, ya que lo más probable es que no les sea natural pasarse del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia³. Espero no fallar en el intento.

En primer lugar, ¿qué es ese *algo* que hace el osciloscopio? Miren la Figura 3. En ella se muestra cómo hace el osciloscopio el acople DC y AC. Cuando se le pide el acople DC, simplemente mide el voltaje al leer su caída por la resistencia interna R_{in} (ignoren ese C_{eff} por ahora); y cuando se le pide el acople AC, conecta un condensador en serie, y luego mide.

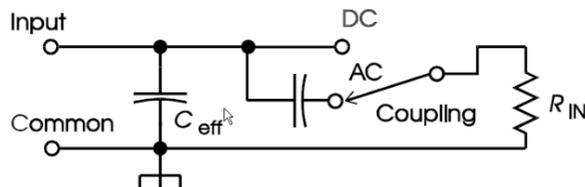


Figura 3: Diagrama de conexión en la medición del osciloscopio.

Si no se ve tan claro, observen ahora la Figura 4. En ella se encuentra más simplificado el caso del acople AC, mostrando el circuito RC involucrado en la parte (a) de la imagen. Si buscan en sus mentes, recordarán

³Transformada de Fourier y de Laplace.

que este es un filtro pasa-alto: atenúa los valores bajos de frecuencia, como se observa en la parte (b) de la imagen. En particular, la frecuencia nula ($\omega = 0$) es completamente borrada en el estado estacionario. La frecuencia nula es otra forma de mencionar a la componente constante en el tiempo, i.e. la componente DC. Así se ve claramente por qué al hacer este cambio la señal elimina la componente DC de la señal medida. ¿Pero por qué además me roba mis hermosas líneas rectas? Esto ocurre porque el acople no es ideal: fue una mentira decir que solo resta el promedio. Restar solo promedio implica que el filtro elimina $\omega = 0$ y deja intactos todos los $\omega > 0$, y es evidente de la parte (b) de la Figura que no es nuestro caso. Existe un intervalo de frecuencias bajas que también se ven atenuadas, antes de llegar a la frecuencia de corte.

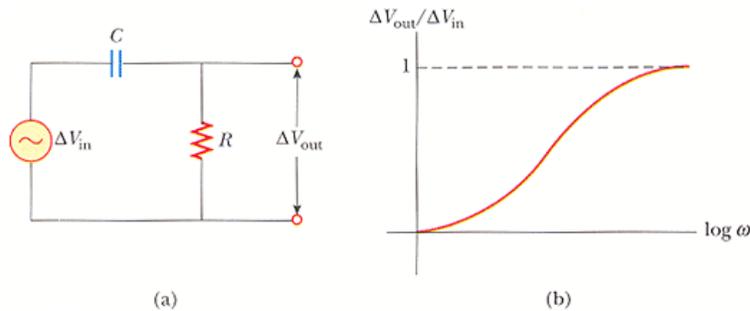


Figura 4: Filtro RC pasa-alto.

Y bueno, ¿En qué me afecta que también atenúe frecuencias bajas, si yo estoy hablando de hermosas líneas rectas? La onda cuadrada, y en general cualquier onda periódica con trazos rectos como la observada en el laboratorio, se deben representar con infinitas frecuencias. Piensen en lo difícil que es representar una línea horizontal utilizando senos y cosenos, que no son rectos. Entonces, para el caso de una onda cuadrada de período L tenemos la siguiente descomposición:

$$V(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{n} \text{sen} \left(\frac{n\pi t}{L} \right)$$

Los primeros valores de n serán atenuados por nuestro filtro pasa-altos no ideal, por lo que el voltaje ya no será exactamente representado. Perder frecuencias muy altas en general no afecta tanto la representación: se pierde la precisión para representar líneas verticales bruscas, y se ven como diagonales muy empinadas. Pero eliminar las primeras frecuencias le quita a la descomposición algo así como la forma *base* en donde comenzar a sumar las demás, y la función se nota distorsionada. Si aun no se convencen, piensen que esa pequeña pendiente que reemplaza a la hermosa línea recta horizontal podría ser cancelada al sumar un seno que oscile en sentido contrario y con esa misma lentitud. Bueno, esa sensación de que nos falta ese seno, o ese pequeño grupo de senos que representan una variación muy lenta, son esas componentes de baja frecuencia atenuadas por el circuito RC del osciloscopio.

Es por esto que cuando en el osciloscopio se acopla una señal con componentes de frecuencia bajas en acople AC, la representación sufre. No se observaba una distorsión en el seno de la fuente porque este seno posee una sola frecuencia, no es una sumatoria, así que solo podía atenuarse. Tampoco se observaba atenuado, ya que su frecuencia era suficientemente alta como para estar más arriba de la frecuencia de corte. Noten que bajo este argumento, mientras más importantes sean las bajas frecuencias en la descomposición de una señal, más distorsionada se verá. Veán por ejemplo la Figura 5. En ella, se muestra el efecto del filtro RC en la onda cuadrada cuando su frecuencia fundamental⁴ es relativamente baja, intermedia, y alta. Mientras mayor sea la frecuencia fundamental de la onda cuadrada, su descomposición se ubicará más

⁴La frecuencia fundamental de una señal periódica es la frecuencia a la cual se repiten los patrones de ella. Piensen en la frecuencia fundamental como aquella que solo determina la periodicidad de la señal, mientras que las demás componentes de la descomposición en frecuencia determinan la forma de sus patrones.

hacia las frecuencias altas, implicando que la atenuación que sufren las frecuencias bajas bajo la frecuencia de corte le afectan cada vez menos.

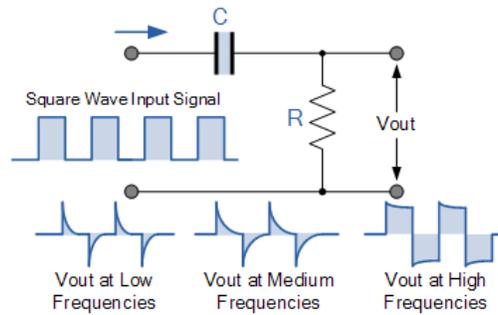


Figura 5: Onda cuadrada al pasar por un filtro RC pasa-alto para diferentes frecuencias.