

Modulación PWM AFG3021

Damián

16 de septiembre de 2025

1. Configuración del generador de funciones AFG3021 para usar PWM con la fuente conmutada de labo 4

Características de la fuente:

- Tensión de salida: 24 V
- Corriente máxima de salida: 5 A
- Tiempo máximo de conmutación: 35 μ s
- Umbral de encendido: < 4 V
- Umbral de apagado: > 1 V

Para configurar el generador de funciones para que entregue una modulación por ancho de pulso, hay que configurar el tipo de señal en “Pulse” con los niveles de tensión que correspondan al encendido y apagado de la fuente ($V_{LO} = 0$ V y $V_{HI} = 5$ V si la salida está en High Z).

Luego, en el menú “Run Mode”, hay que seleccionar “Modulation” y configurar:

- Modulation Type: “PWM”
- PWM Source: Internal
- Modulation Shape: “Sine”
- PWM Freq: Frecuencia con la que se modula el ciclo de trabajo

En esta configuración:

- Frequency: Frecuencia de la señal pulsada (Periodo T)
- Duty: Valor medio del ciclo de trabajo de la señal pulsada
- Derivation: Amplitud de la modulación del ciclo de trabajo (varía de 0 a Duty)

Sabiendo que (ver sección 3):

$$\langle P \rangle = \frac{V_{\text{fuente}}^2}{R} \cdot D$$

lo que hace la modulación es cambiar el valor de D según una función senoidal:

$$D = \text{Duty} + \text{Derivation} \cdot \sin(2\pi \cdot \text{PWM}_{\text{Freq}} \cdot t)$$

y la potencia media en la resistencia será:

$$\langle P \rangle = \frac{V_{\text{fuente}}^2}{R} \cdot \text{Duty} \cdot \left(1 + \frac{\text{Derivation}}{\text{Duty}} \cdot \sin(2\pi \cdot \text{PWM}_{\text{Freq}} \cdot t) \right)$$

2. Parámetros en la práctica de Difusividad

Como la potencia se aplica en un sistema térmico con suficiente inercia, no es necesario usar altas frecuencias, ya que el sistema, respondiendo lentamente, se encargará de filtrar todos los armónicos de la señal pulsada y quedarse con el valor medio de la potencia aplicada.

Valores recomendables son:

- Amplitud HIGH = 5 V
- Amplitud LOW = 0 V
- Freq = 10 Hz a 100 Hz
- Duty = 50 %
- Derivation = 50 % (varía entre 0 % y Duty)
- Shape = Sine
- PWM Freq = de 2 mHz a 8 mHz (el período de la modulación debe ser al menos el doble que el tiempo de difusión entre termocuplas)

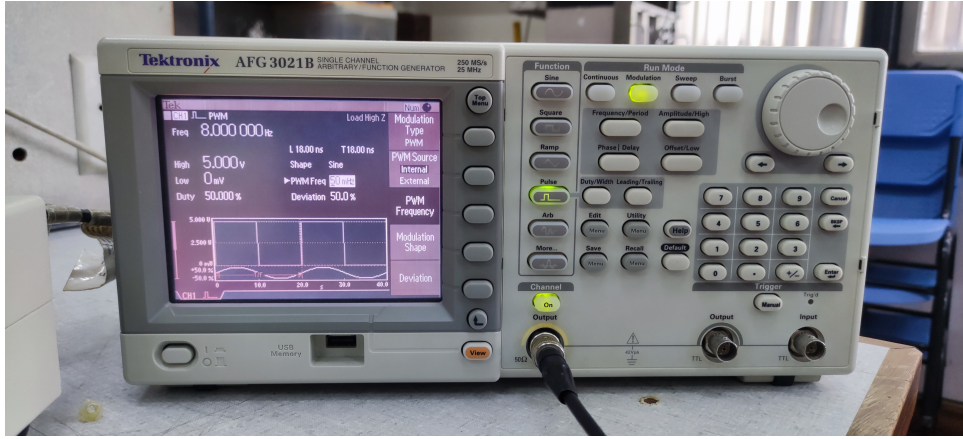


Figura 1: Configuración del generador de funciones AFG3021

3. Señal modulada por ancho de pulsos

La modulación PWM genera una señal pulsada periódica de período T de la forma:

$$v(t) = \begin{cases} V_{HI} & \text{si } 0 \leq t < D \cdot T \\ V_{LO} & \text{si } D \cdot T \leq t < T \end{cases} \quad \text{con } v(t) = v(t + T) \quad \forall t$$

donde $D \in [0, 1]$.

La potencia media que esta señal entrega a una resistencia en cada ciclo es:

$$\begin{aligned} \langle P \rangle &= \frac{1}{T \cdot R} \int_0^T v(t)^2 dt \\ &= \frac{1}{T \cdot R} \left(V_{HI}^2 \int_0^{D \cdot T} dt + V_{LO}^2 \int_{D \cdot T}^T dt \right) \\ &= \frac{1}{R} (V_{HI}^2 \cdot D + V_{LO}^2 \cdot (1 - D)) \end{aligned}$$

y si la señal tiene $V_{LO} = 0$:

$$\langle P \rangle = \frac{V_{HI}^2}{R} \cdot D$$

Con lo que se obtiene una potencia media proporcional al ciclo de trabajo, solo encendiendo y apagando una llave, sin la necesidad de una fuente analógica.

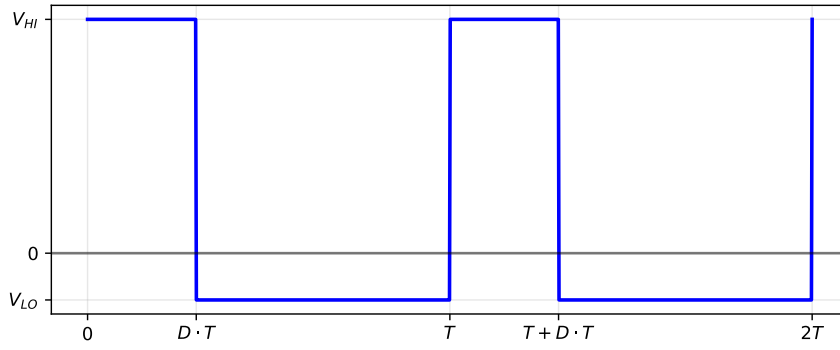


Figura 2: Señal modulada por ancho de pulso con ciclo de trabajo $D = 0,3$

4. Ancho de banda y alternativa al PWM

La modulación por ancho de pulso no es la única que existe ni la mejor, pero es una de las más usadas por lo fácil que es implementarla. Uno de los puntos más criticables es que para tener mucha resolución, el dispositivo que conmuta (la fuente encendiéndose y apagándose) tiene que ser muy rápido; cuanto más rápido, más resolución se consigue. Si se mira el espectro de la señal generada, este tiene la forma:

$$c_k = V_{\text{fuente}} \cdot D \cdot \text{sinc}(D \cdot k)$$

es decir que cuanto más pequeño sea el valor de D , más lento decaen los armónicos y más ancho de banda se necesita, en la fuente, para conseguir pulsos de igual calidad.

Esto no es malo en sí, ya que no es difícil generar estos sistemas que solo se encienden y se apagan, pero otras modulaciones como por ejemplo la modulación por densidad de pulsos (PDM) aprovechan mejor este gran ancho de banda.

La modulación por densidad de pulsos, en lugar de entregar un pulso de duración $D \cdot T$, genera el pulso más rápido que puede el sistema y los distribuye uniformemente para tener $N \cdot D$ pulsos encendidos y $N \cdot (1 - D)$ pulsos apagados. Con esto se consigue, en el peor de los casos (el D más pequeño), tener la misma cantidad y distribución de armónicos, pero al aumentar D , los armónicos se corren a frecuencias más altas, con lo que es más fácil filtrarlos, a diferencia de la señal PWM donde sus armónicos siempre están a múltiplos de la frecuencia de la señal pulsada.

En la figura 3 se pueden ver los armónicos de los dos tipos de modulación.

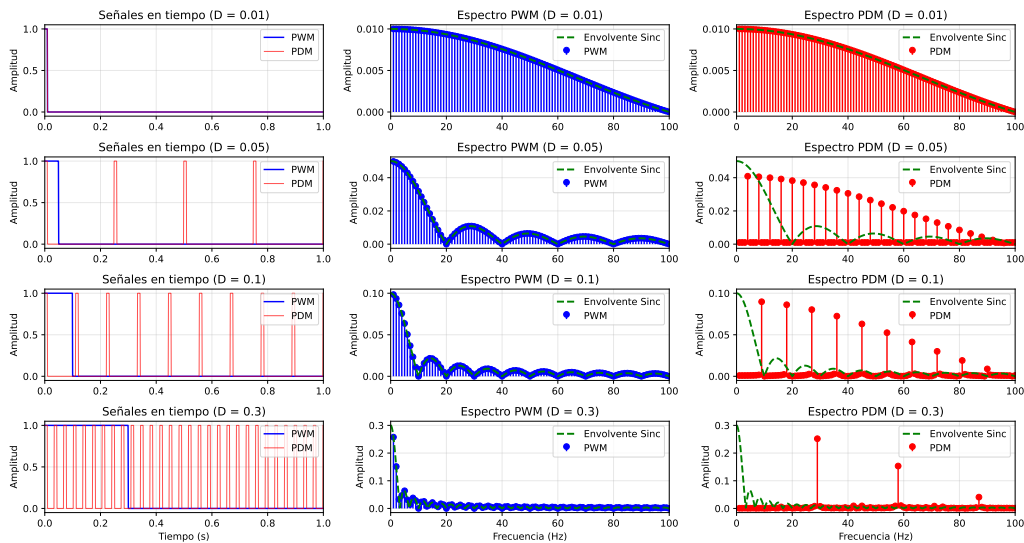


Figura 3: Distribución espectral de una señal PWM vs una con PDM. Si se quiere recuperar solo el valor medio de la señal, es mas fácil filtrar una señal con PDM