



Dayanna Castillo

2023-0112

Electiva Mecatronica

Carlos Pichardo Viuque

Investigación sobre filtro antialiasing (teoría del muestro)

El **filtro antialiasing** (AAF, por sus siglas en inglés) es un **filtro de paso bajo** fundamental en la teoría del muestreo, especialmente relevante en sistemas de control y adquisición de datos como los que se encuentran en un **PLC** (Controlador Lógico Programable).

Su función principal, basada en el **Teorema de Muestreo de Nyquist-Shannon**, es limitar el ancho de banda de una señal analógica **antes de que sea muestreada** por el convertidor analógico-digital (ADC) del PLC.

Teoría del Muestreo y Aliasing

El Teorema de Nyquist-Shannon establece que, para reconstruir fielmente una señal a partir de sus muestras, la **frecuencia de muestreo** (f_s) debe ser al menos el doble de la componente de frecuencia más alta (f_m) presente en la señal. Esta mitad de la frecuencia de muestreo se conoce como la **frecuencia de Nyquist** ($f_{Nyquist}$).

El fenómeno de **aliasing** (solapamiento) ocurre si la señal de entrada contiene componentes de frecuencia superiores a la frecuencia de Nyquist ($f_{Nyquist}$). Estas frecuencias altas se "repliegan" o "solapan" en el espectro de frecuencias de la señal muestreada, apareciendo incorrectamente como frecuencias más bajas. Esto introduce una **distorsión irreversible** en la señal digitalizada, haciendo que el ADC detecte una señal errónea.

Papel del Filtro Antialiasing

El filtro antialiasing se aplica antes del muestreo para **atenuar o eliminar** activamente cualquier componente de frecuencia en la señal analógica que esté **por encima** de la frecuencia de Nyquist del sistema de muestreo. Al hacerlo, asegura que la señal que llega al ADC esté, al

menos en la banda de interés, limitada en banda y cumpla con los requisitos del Teorema de Muestreo, minimizando así el error por aliasing.

En la práctica:

1. El filtro antialiasing es un **filtro analógico de paso bajo** ubicado justo antes de la etapa de conversión ADC de la tarjeta de entrada analógica del PLC.
2. Su **frecuencia de corte** () se establece generalmente a o por debajo de la frecuencia de Nyquist del sistema.
3. Dado que los filtros reales no son "de pared de ladrillo" (es decir, no atenúan infinitamente inmediatamente después de la frecuencia de corte, sino que tienen una **banda de transición**), la frecuencia de muestreo real () a menudo se elige para ser considerablemente **mayor** que el doble de la frecuencia máxima de la señal de interés, para dejar suficiente margen y que la banda de transición del filtro pueda funcionar eficazmente.

En el contexto de un PLC, aunque no siempre se hace explícita la presencia de un AAF en la documentación del usuario, es un componente crucial en el diseño interno de sus **módulos de entrada analógica** para garantizar la precisión de las mediciones de variables continuas como temperatura, presión o caudal.

Entradas y Salidas Digitales (PNP vs. NPN)

<i>Tipo</i>	<i>Descripción (Flujo de Corriente)</i>	<i>Detección (Input)</i>	<i>Activación (Output)</i>
PNP (Sourcing)	El sensor/salida suministra (+) la tensión al PLC.	Detecta un cero (0V) al activarse (cuando el PLC está cableado para detectar la señal positiva).	Envía el positivo (+V) a la carga.
NPN (Sinking)	El sensor/salida drena (-) la tensión del PLC (la conecta a GND).	Detecta un positivo (+V) al activarse (cuando el PLC está cableado para detectar la señal negativa).	Envía el negativo (GND) a la carga

Entrada Digital Optoacoplador

El **optoacoplador** es vital para el aislamiento eléctrico. Protege el circuito lógico de bajo voltaje (como el ESP32 a 3.3V) de las señales de campo de alto voltaje (ej., 24V). Un LED interno se enciende con la señal de campo, y su luz activa un fototransistor interno que genera la señal digital limpia para el microcontrolador. Un IC común sugerido es el **PC817** o el **6N137** para aplicaciones de alta velocidad.

2. Entradas y Salidas Analógicas

Estos estándares se utilizan para la medición (entradas) y el control (salidas) de variables físicas continuas.

- **0-10V (Voltaje):** Simple y de bajo costo, pero sensible al ruido en largas distancias.
- **4-20mA (Corriente):** Es el estándar industrial más robusto. Es altamente **inmune al ruido** en largas distancias. Su principal ventaja es la **detección de rotura de línea**; una corriente de representa de la señal, mientras que indica un fallo o un cable roto.

Interfaz Analógica con ESP32 (3.3V)

Dado que la precisión del ADC interno del ESP32 no es ideal para aplicaciones industriales, se sugiere usar un ADC externo y circuitos de acondicionamiento:

- **Entrada Analógica de Alta Precisión:** Utilice un ADC externo I²C de bits, como el **ADS1115**, para una lectura precisa.
- **Acondicionamiento 4-20mA:** Para convertir la señal de corriente a voltaje (que el ADC pueda leer), se usa una **resistencia de precisión** de . Al pasar la corriente, genera una tensión de () a (), que se conecta al ADC.
- **Salida 0-10V:** Se requiere un Conversor Digital-Analógico (DAC) como el **MCP4725** (I²C), seguido de un **amplificador operacional** (Op-Amp) potente (ej., OPAx188) para escalar y amplificar el voltaje hasta con la capacidad de suministrar corriente a la carga.
- **Salida 4-20mA:** Utilice un chip dedicado como el **XTR111** o **XTR117** de Texas Instruments, que toma una entrada de voltaje (del DAC) y la convierte en una salida de corriente precisa de .

3. Driver Relay

El *driver* para un **relé** permite que el microcontrolador (ej., ESP32) conmute cargas de alta potencia o voltaje (ej.,) utilizando su señal de bajo voltaje.

- **Componentes Esenciales:**
 1. **Transistor Driver:** (ej., 2N2222) para conmutar la bobina del relé.
 2. **Diodo de Flyback:** Conectado en paralelo a la bobina del relé para proteger el transistor de la alta tensión inversa generada cuando la bobina se desenergiza.

4. Interfaces de Comunicación

Interface RS-485

RS-485 es el medio físico más común para la comunicación industrial robusta, serial y diferencial (par trenzado). Es ideal para largas distancias y entornos ruidosos.

- **Transceptor:** Se requiere un IC transceptor (ej., **MAX485** o **SP3485**) para convertir las señales lógicas TTL del ESP32 a las señales diferenciales A/B que viajan por el bus RS-485.

Protocolo Modbus implementado en el ESP32

Modbus es el protocolo de facto para la comunicación en la automatización. El ESP32 puede actuar como:

- **Maestro (Master):** Envía peticiones para leer o escribir datos en dispositivos esclavos.
- **Esclavo (Slave):** Responde a las peticiones del maestro.

La implementación en el ESP32 requiere librerías específicas (disponibles en GitHub para Arduino/ESP-IDF) para Modbus RTU (sobre RS-485) o Modbus TCP (sobre Wi-Fi/Ethernet).

5. Medición de Corriente (CT) y Energía AC

Para medir energía, se necesita un circuito integrado (IC) especializado que pueda muestrear simultáneamente la tensión AC y la corriente AC (detectada por un Transformador de Corriente o CT).

IC para Medición de Energía (I²C y SPI)

- **Opción SPI (Más Común y Robusta):** La mayoría de los ICs de medición de energía de alto rendimiento utilizan la interfaz **SPI** debido a la alta velocidad de muestreo requerida. Ejemplos incluyen las series **ADE7758** o **ADE7880** de Analog Devices.
- **Opción I²C (Menos Común para Energía Multifase):** Si la interfaz I²C es un requisito estricto, la selección es limitada. Aunque es más común para mediciones DC o chips de menor rendimiento, se pueden buscar algunas variantes en las series **ADE78xx** o chips de bajo costo para monofase que prioricen la simplicidad del bus.
 - *Nota:* Para mediciones simples de corriente/voltaje DC a través de I²C, se usaría un **INA226/INA219**, pero estos no miden potencia AC.

Uso del Transformador de Corriente (CT)

El CT (ej., **SCT-013**) genera una pequeña señal de corriente que es proporcional a la corriente de carga. Esta señal debe ser acondicionada (convertida a un pequeño voltaje AC y desplazada a un voltaje de referencia,) antes de ser inyectada al IC de medición de energía para su correcta digitalización.