

## CONVERSIONE DIGITALE/ANALOGICA (DAC - *Digital to Analog Conversion*)

La conversione digitale/analogica è il processo che permette di trasformare un segnale digitale in uno analogico (è l'inverso della conversione analogico/digitale). Viene utilizzata quando il dispositivo finale a cui deve giungere l'informazione è di tipo analogico, ad esempio casse audio o cuffie, monitor a raggi catodici (ma anche in quelli LCD ogni LED viene pilotato in modo analogico), LED o lampade con possibilità di attenuazione (dimming), motori elettrici, ecc ecc. Il processo DAC è meno complesso dell'ADC.

L'accuratezza della riconversione digitale/analogica dipende molto dalla qualità del segnale digitale. Se questo è stato ricavato in modo opportuno la riconversione in analogico permette di tornare ad un segnale quasi identico a quello originario.

Esistono varie modalità per la DAC, ne vediamo due.

### 1. MODALITA' 1: CONVERSIONE TRAMITE CONVERTITORE PROPORZIONALE

La modalità di conversione digitale/analogica più intuitiva assomiglia molto all'operazione che si farebbe a mano per convertire un numero binario in un numero decimale.

*Esempio.*

Dovendo convertire il numero 10011 in decimale si dà a ciascun bit un peso che dipende dalla posizione:

$$10011_{\text{base}2} = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 1 \cdot 16 + 0 \cdot 8 + 0 \cdot 4 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 16 + 2 + 1 = 19_{\text{base}10}$$

Il convertitore proporzionale funziona praticamente allo stesso modo, con una sola differenza: il numero decimale in uscita è limitato dalla tensione massima di uscita del convertitore.

*Esempio.*

Se il convertitore dell'esempio precedente può erogare al massimo 5V, non può produrre 19 V. Quindi bisogna operare una semplice proporzione.

$$V_{\text{out}} : 5 = 19 : 32$$

32 deriva dal fatto che con 5 bit si possono generare  $2^5=32$  numeri. Il risultato è

$$V_{\text{out}} = 5 \cdot \frac{19}{32} = 2,97V$$

Volendo ricavare un'espressione generale viene fuori la seguente formula:

$$V_{\text{out}} = \frac{V_{\text{base}10}}{2^{n_{\text{bit}}}} \cdot V_{\text{max}}$$

dove:

- $V_{\text{out}}$  è la tensione analogica in uscita dal convertitore;
- $V_{\text{max}}$  è la massima tensione erogabile;
- $V_{\text{base}10}$  è la conversione in decimale del valore binario;
- $n_{\text{bit}}$  è il numero di bit di cui è composto il numero binario

Esistono dei dispositivi che effettuano proprio questo tipo di operazione. I più usati sono quello a "resistenze pesate" o a "scala di resistenze".

## 2. MODALITA' 2: CONVERSIONE TRAMITE "PWM"

Se non si ha a disposizione un convertitore proporzionale (ad esempio Arduino Uno non ce l'ha), ma si vuole comunque generare un segnale analogico, è possibile utilizzare questa tecnica.

PWM sta per *Pulse Width Modulation* (modulazione a larghezza di impulso).

Il nome sembra complicato ma la tecnica si basa su un concetto molto semplice.

Avete presente i Joypad digitali tipo questo? (che hanno solo tasti senza levette analogiche)



Come si fa a guidare una macchina col Joypad e a fargli fare una curva dolce avendo a disposizione solamente dei pulsanti ON/OFF?

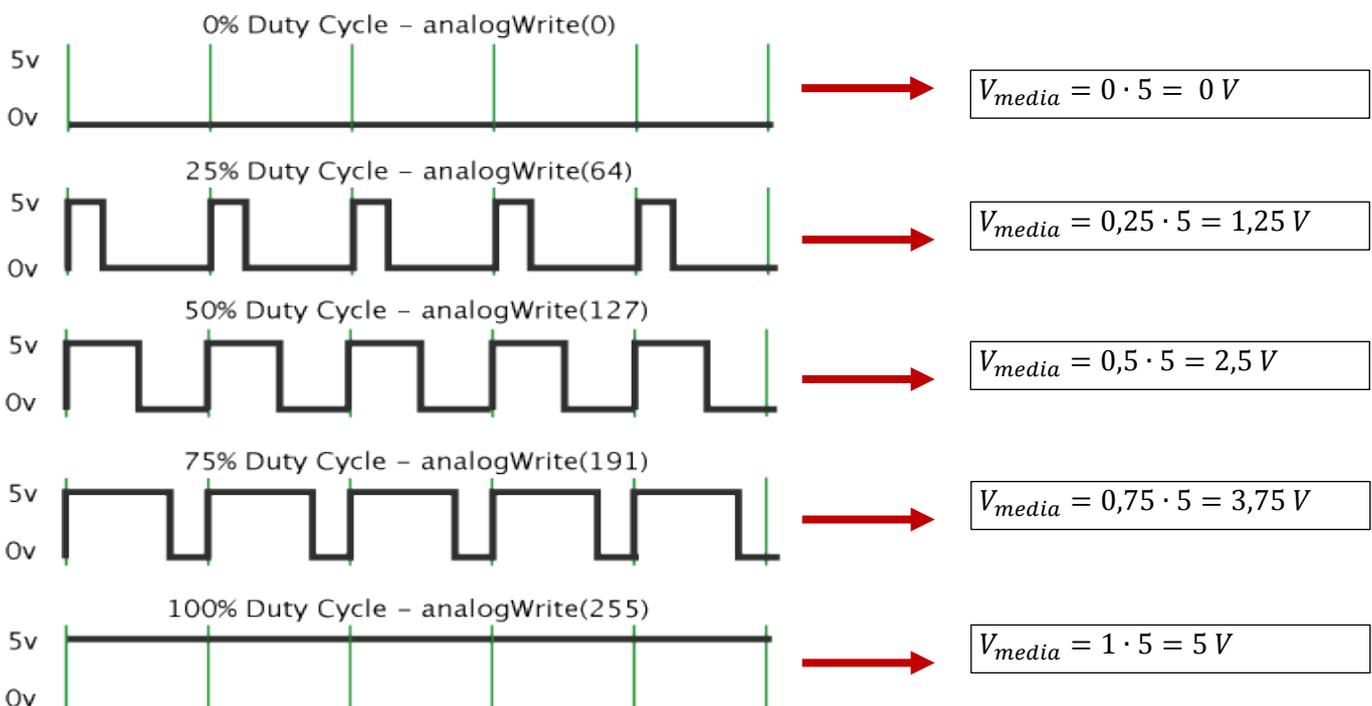
Quello che abbiamo fatto tutti è di spingere e rilasciare il tasto più o meno velocemente per cercare di indirizzare correttamente l'auto sulla giusta traiettoria. Bene, di fatto abbiamo realizzato una PWM fatta in casa. Infatti abbiamo modulato la larghezza (cioè la durata) dell'impulso HIGH rispetto a quello LOW.

Avendo a disposizione solamente i valori 0 e 1 quello che possiamo fare è modificare la percentuale di tempo in cui c'è il valore 1 rispetto al valore 0. Questa grandezza è chiamata *duty cycle*.

$$duty\_cycle = \frac{\Delta t_{HIGH}}{T}$$

dove:

- $T$  è il periodo del segnale.
- $\Delta t_{HIGH}$  è il tempo in cui il segnale resta al valore 1 (alto).



Volendo scrivere una formula generale viene la seguente:

$$V_{media} = duty\_cycle \cdot V_{max}$$

Ad esempio in Arduino, il comando `analogWrite()` permette di ottenere questo tipo di uscita dai PIN di *analog output*.

C'è un dubbio: il segnale di uscita non è veramente un segnale analogico col valore voluto (come per i convertitori DAC), bensì è un segnale ad onda quadra con duty cycle variabile, va bene lo stesso?

Dipende...

Per andare bene, bisogna che il dispositivo a cui viene inviato questo segnale sia in grado di ricavarne il valore medio senza venire disturbato da tutte le repentine variazioni 0/1 e 1/0. Ricavare il valore medio, ricordandoci quanto detto sull'analisi dei segnali nel dominio della frequenza (pag.6), significa estrarre solo la componente a  $f=0$  Hz del segnale, cioè applicare un filtro passa-basso in grado di cancellare tutte le armoniche tranne la componente a frequenza nulla.

Nella realtà quasi tutti i sistemi si comportano come dei filtri passa basso oltre una certa frequenza (frequenza di taglio  $f_t$ , vedi pag.4 della conversione AD). Esempi tipici sono:

- **L'occhio umano** ha  $f_t \cong 20-25$  Hz: se un'immagine varia più velocemente di 25Hz l'occhio la vede come continua. Al posto degli Hertz spesso si usa l'unità di misura fps (frames per second) che è la stessa cosa. Su questo si basa il cinema (24fps), i monitor (50-60 fps), ecc. Quindi per i dispositivi luminosi la tecnica PWM è perfetta perché l'occhio ha una frequenza di taglio piuttosto bassa. Ad esempio inviando ad un LED un segnale PWM con *duty cycle* variabile non si avverte che il LED si accende e si spegne repentinamente ma bensì si avverte una variazione dolce della luminosità.
- **L'orecchio umano** ha  $f_t \cong 20$  kHz quindi è 1000 volte più sensibile dell'occhio, ciò pone più problemi alla PWM. Inoltre i segnali audio sono tutte sovrapposizioni di sinusoidi, quindi fortemente variabili. Questo complica ulteriormente le cose. Esistono applicazioni della PWM nel campo audio anche se non molto diffuse (amplificatori in classe D o S). Hanno il pregio di consumare poca energia. Si usano più spesso i DAC.
- **I motori elettrici** hanno  $f_t \cong 100-1000$  Hz a seconda della taglia. Tutti i motori elettrici di nuova generazione sono azionati tramite PWM (attraverso un dispositivo chiamato INVERTER). Oltre la frequenza di taglio gli avvolgimenti del motore fungono da filtro passa basso: tutte le variazioni 0/1 e 1/0 vengono smussate e quindi è possibile controllare la velocità del motore in modo graduale senza sobbalzi.
- **Filtri specifici.** E' possibile anche applicare direttamente un filtro costruito appositamente per ricavare il valore medio del segnale. In questo caso il risultato si avvicina a quello di un DAC. Ad esempio gli amplificatori in classe D o S usano dei filtri in uscita.

Possiamo quindi concludere che:

$$V_{out} = V_{media} \quad (\text{solo con filtro passa basso})$$