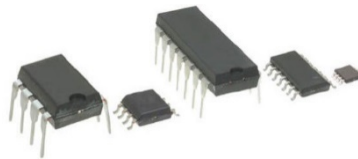


1.3 Elettronica di base - Circuiti Integrati

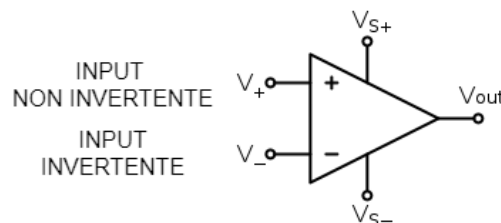
Abbiamo visto il comportamento dei transistor e come grazie ad essi si possono realizzare circuiti che possono agire come amplificatori. Ora introduciamo i circuiti integrati (IC), dispositivi che sono composti da un singolo pezzo di silicio sul quale è realizzato un circuito elettrico intero, composto da resistenze, transistor, ecc. La maggior integrazione rende questi componenti più facili da usare rispetto ai transistor singoli e permette di realizzare funzioni complicate in poco spazio, permettendo di superare i limiti dovuti alle variazioni delle caratteristiche dei transistor.

I circuiti integrati sono dispositivi con più terminali che possono avere dimensioni ed aspetto differente a seconda del loro *package* che dipende dalla tecnologia di montaggio e dalle necessità di dissipazione termica



Amplificatore operazionale (op-amp)

Introduciamo il primo circuito integrato che utilizzeremo, l'amplificatore operazionale (op-amp) che costituisce il blocco elementare con cui sono realizzati quasi tutti circuiti moderni che trattano segnali analogici.



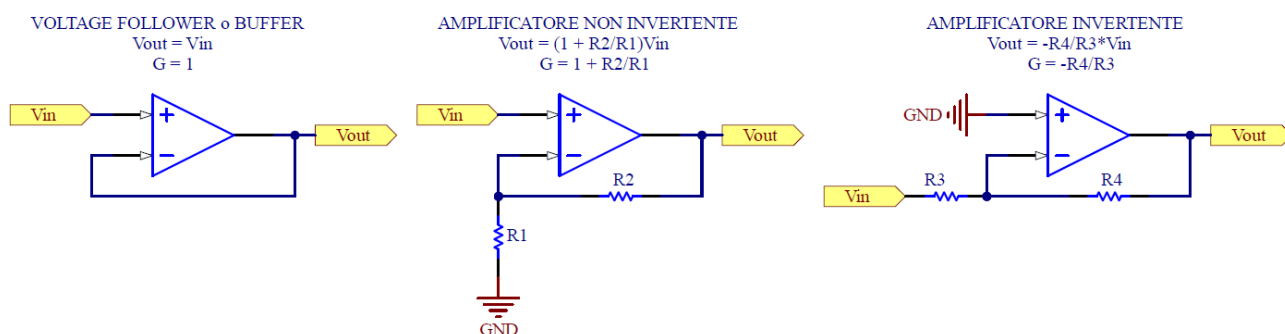
Alla base un amplificatore operazionale è un amplificatore differenziale con un guadagno molto elevato (oltre 100.000 tipicamente) che in base al modo in cui sono collegati possono svolgere differenti funzioni. Ha due ingressi denominati ingresso *non invertente* ed *invertente* con un'impedenza di ingresso estremamente alta ed un'uscita (V_{out}) con una relativamente bassa impedenza di uscita.

Configurazione ad anello aperto (comparatore)

Se non viene effettuato nessun collegamento in retroazione (ovvero che in qualche modo collega l'output con gli input dell'op-amp) il circuito si comporta come un comparatore di tensione. Per via dell'enorme guadagno differenziale l'uscita sarà pari alla tensione di alimentazione positiva V_{S+} se $V_+ > V_-$ mentre sarà pari alla tensione di alimentazione negativa V_{S-} se $V_+ < V_-$. I circuiti integrati venduti come amplificatori operazionali non sono progettati per essere utilizzati in questo modo e difatti offrono prestazioni piuttosto basse in questa configurazione. Esistono circuiti integrati ottimizzati per questo scopo venduti con il nome di *comparatori*.

Configurazioni in retroazione negativa: amplificatori

Collegando l'amplificatore operazionale in una configurazione con retroazione (o *feedback*) negativa otteniamo un circuito che permette di amplificare un segnale in maniera utile: in sostanza queste configurazioni permettono di controllare il guadagno dell'amplificatore. Vediamo le configurazioni basi in cui un amplificatore operazione viene utilizzato come un amplificatore semplice:



Un op-amp in una configurazione con retroazione negativa è sempre analizzabile con le seguenti regole:

1. Sui pin di input V_+ e V_- non passa alcuna corrente
2. L'op-amp cerca di fare il possibile (modificando l'output) per mantenere i due pin di input alla stessa tensione

Analizziamo brevemente le tre configurazioni illustrate sopra

Voltage follower o buffer

Qui l'analisi è estremamente semplice: il segnale arriva all'ingresso non invertente e l'uscita è collegata all'ingresso invertente quindi per effetto della regola 2 $V_{out} = V_{in}$

Amplificatore non invertente

Il circuito è molto simile a quello del buffer, solo che nel circuito di retroazione è presente un divisore di potenziale. Quindi $V_- = V_{out} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ e per la regola 2 per avere $V_+ = V_-$ si deve avere $V_{in} = V_{out} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ e quindi abbiamo un amplificatore con un guadagno pari a $G = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + R_2/R_1$.

Amplificatore invertente

Qui l'analisi è un po' più complessa. Notiamo che l'ingresso non invertente è stato collegato a GND quindi per effetto della regola 2 $V_+ = V_- = 0V$. In questa configurazione l'ingresso invertente viene anche chiamato *ground virtuale* (virtuale perché è a 0V anche se non collegato direttamente a GND). Vediamo ora come questo circuito può funzionare da amplificatore: Il segnale in ingresso passa attraverso R_3 il cui secondo terminale è a 0V quindi passa una corrente $I_{R_3} = V_{in}/R_3$. Per via della regola 1 questa corrente non può fare altro che passare attraverso R_4 per essere assorbita dall'output dell'op-amp e quindi produce una caduta di tensione su di essa pari a $V_- - V_{out} = I_{R_3} R_4$. Essendo $V_- = 0$ si ha che $V_{out} = -V_{in} \frac{R_4}{R_3}$ quindi l'amplificatore ha un'uscita negativa per un segnale d'ingresso positivo da cui il nome amplificatore invertente.

Questo circuito ha uno svantaggio rispetto alle configurazioni precedenti: è un circuito con un'impedenza di ingresso piuttosto bassa (pari a R_3) e quindi che assorbe una certa corrente dall'input, a differenza delle configurazioni precedenti che hanno una impedenza d'ingresso quasi infinita (per via della regola 1).

Limitazioni degli amplificatori operazionali reali

Finora abbiamo visto il comportamento di un amplificatore operazionale ideale, ora vediamo le limitazioni imposte dai circuiti reali

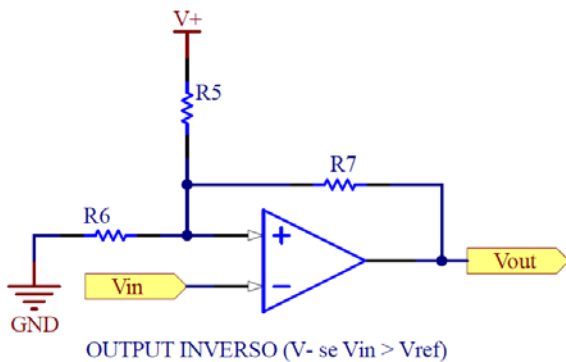
- Le regole 1 e 2 enunciate sopra valgono solo quando l'amplificatore operazionale è nella regione attiva, ovvero quando gli input e gli output non sono saturati ad una delle tensioni di alimentazione. Tipicamente gli op-amp standard possono gestire segnali entro 1.5-2V delle alimentazioni (ad esempio per una tensione di alimentazione di $\pm 15V$ ingressi ed uscite entro $\pm 13V$). Esistono certi amplificatori che possono gestire segnali vicino ad una o a tutte e due le

alimentazioni e sono denominati *rail-to-rail* o *single supply*. L'op-amp che useremo per il corso (LM358) può gestire segnali vicino alla alimentazione negativa

- La banda passante (ovvero la frequenza massima del segnale che può essere amplificato) è limitata, specie per valori alti del guadagno.
- Ci sono varie cause che possono indurre instabilità nell'operazione degli amplificatori operazionali tra cui rumore sulla linea di alimentazione per cui richiedono sempre un condensatore di bypass vicino ai pin di alimentazione.

Configurazioni in retroazione positiva: comparatori con isteresi

COMPARATORE CON ISTERESI

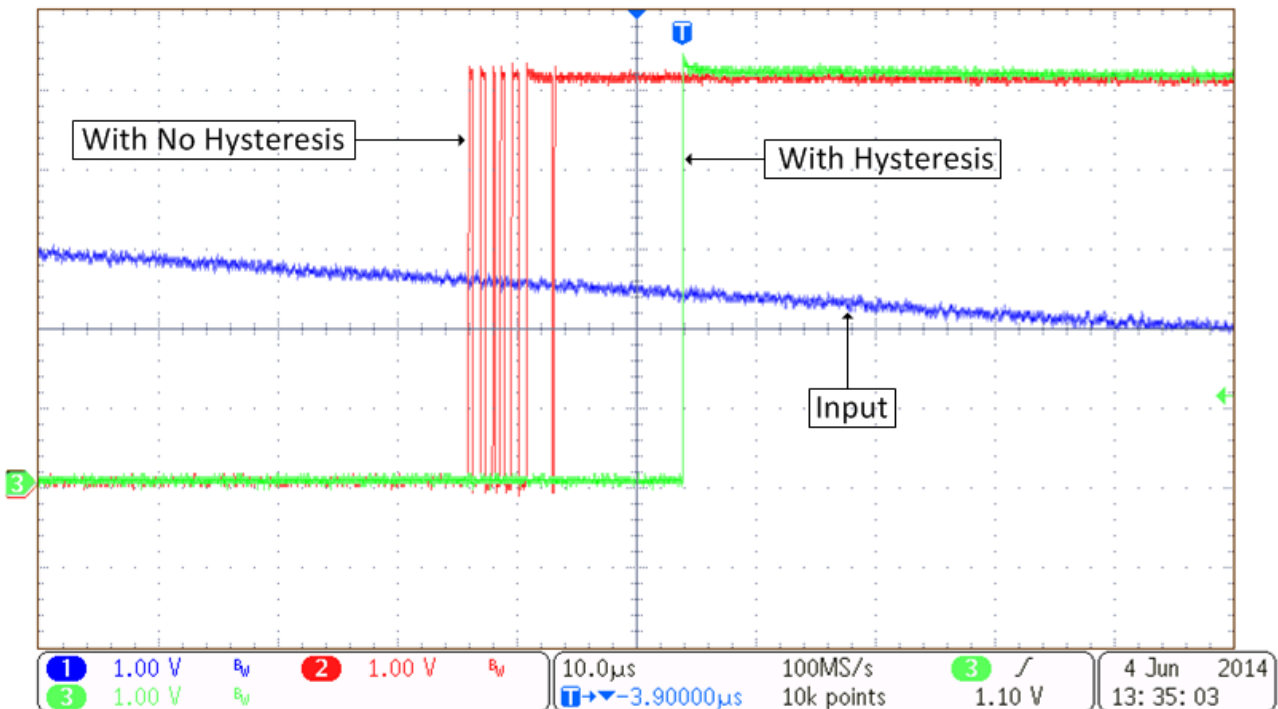


L'uso in anello aperto come comparatore ha alcuni svantaggi: per un ingresso che varia lentamente il comparatore è piuttosto lento e se l'ingresso contiene rumore l'uscita può avere più transizione quando passa per la soglia di tensione. Entrambi questi problemi possono essere risolti aggiungendo retroazione positiva tramite la resistenza R7 nello schema. Il suo effetto è quello di far avere al circuito due soglie di attivazione, a seconda dello stato dell'uscita; ovvero di introdurre *isteresi*: sostanzialmente quando l'uscita è a livello alto R7 è in parallelo con R5 e quindi la tensione di

riferimento si alza; mentre quando l'uscita è a livello basso R7 è in parallelo con R6 e quindi la tensione di riferimento si abbassa.

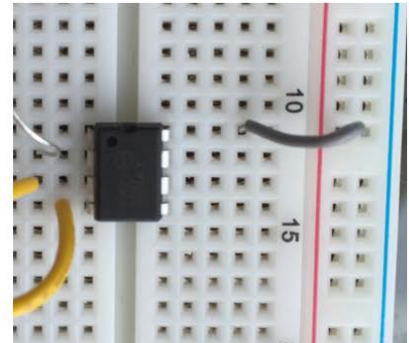
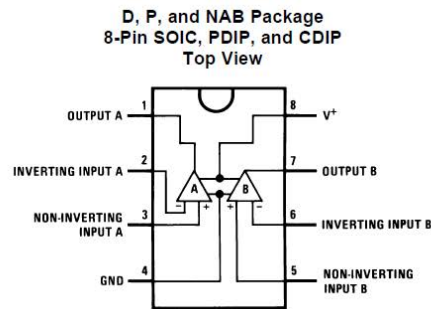
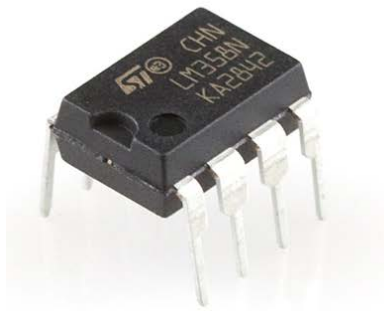
Questa configurazione viene chiamata anche Schmitt Trigger ed è un circuito molto usato anche in circuiti digitali per eliminare rumore dai segnali.

Vediamo un grafico che illustra l'effetto dell'isteresi (tratto da Texas Instruments - Comparator with Hysteresis Reference Design (TIDU020A))



Package e pinout dei circuiti integrati

Vediamo ora come si presenta fisicamente un circuito integrato. Sono dispositivi che possono avere molti collegamenti elettrici (*pin*) e possono presentarsi in varie forme o *packages*. La forma tradizionale è quella del DIP (Dual In-line Package) che può essere impiegata direttamente nelle breadboard a cavallo della separazione centrale. Prendiamo come esempio il circuito integrato LM358 che contiene due amplificatori operazionali in un *package* DIP-8 (DIP ad 8 *pin*):



Per i *package* DIP il *pin* numero 1 è indicato da una rientranza su un lato o da un cerchio in prossimità del *pin* 1. Nel caso della rientranza il *pin* 1 è in alto a sinistra ponendo la rientranza verso l'alto.

Esistono molte altre tipologie di *package*, per lo più per la tecnologia a montaggio superficiale come SOIC, QFP, DFN, QFN, BGA ecc.

Regolatore di tensione lineare

Abbiamo visto nel capitolo precedente un metodo per generare una tensione regolata (ovvero costante anche a variare del carico) a partire da una tensione più alta, ovvero la struttura di un regolatore lineare. Questo tipo di regolatore è molto utilizzato quando il consumo di corrente non è molto elevato e/o è necessaria una alimentazione molto ben regolata. Esistono molti circuiti integrati che realizzano questa funzione migliorando significativamente il circuito discreto che abbiamo visto precedentemente. Possono essere a tensione di uscita fissa oppure regolabili: in questo caso la tensione di uscita viene scelta tramite delle resistenze collegate in modo opportuno.

Questi regolatori si dividono in due grandi classi a seconda della tensione di *dropout* ovvero a seconda di quanto la tensione di ingresso deve essere superiore a quella di uscita. I regolatori classici richiedono tensioni in ingresso di 1,5-2V superiori a quelle di uscita e di questa classe fa parte il regolatore L7805 (tensione di uscita 5V) che useremo. I regolatori LDO (Low DropOut) invece richiedono solo una tensione di 200mV o anche meno superiore a quella di uscita e sono impiegati dove è necessario ridurre la dissipazione di calore.

I regolatori di questo tipo non sono molto efficienti (in generale attorno al 40%) perché la differenza di tensione viene dissipata in calore e la potenza è calcolabile con $P = (V_{in} - V_{out}) * I$

Regolatore lineare
L7805
 $V_{out} = 5V$ fissa
 $I_{max} = 1A$

