

Note su stadi d'uscita per amplificatori RRO "Rail to Rail Output".

Corso di Elettronica dei Sistemi Analogici e Sensori.

Prof Lorenzo Capineri, A.A. 2015-2016, rev.1.0

I primi stadi di uscita degli A.O. integrati erano realizzati con coppie di BJT NPN alimentati con generatori di corrente sempre con BJT NPN o con resistori di pull-down. Un esempio e' mostrato nella Figura 1A. Naturalmente essendo le configurazioni dei due BJT diverse (CE e CC), lo slew-rate positivo era maggiore di quello negativo creando un'asimmetria nel segnale di uscita con conseguente aumento della distorsione.

Le configurazioni degli A.O. più moderni sono tutte tipo push-pull ma ancora esistono A.O. con uscita asimmetrica. La differente velocità di variazione dell'uscita e' dovuta all'uso di processi di fabbricazione di circuiti integrati con BJT NPN più veloci di quelli PNP. Questa caratteristica costruttiva può influenzare anche la caratteristica RRO in quanto si ha una capacità dell'uscita di avvicinarsi ai due binari dell'alimentazione in modo diverso a causa della differenti tensioni di saturazione (V_{ceSAT}).

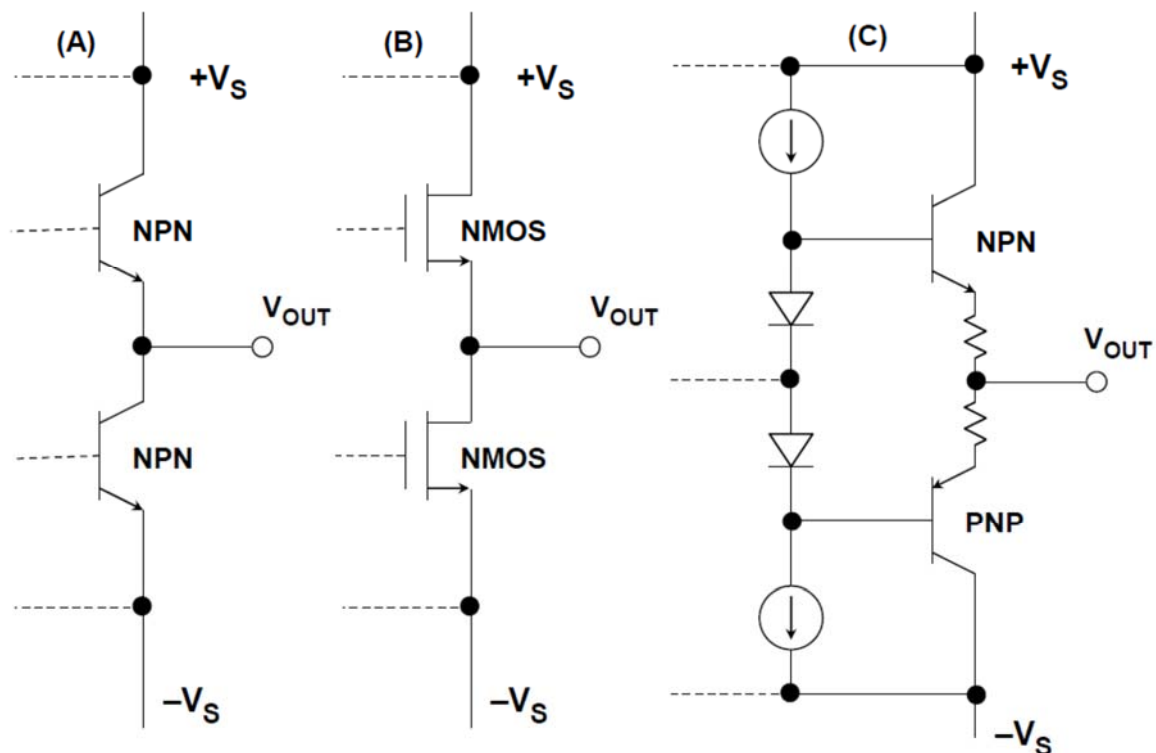


Figura 1 Stadi di uscita tradizionali di amplificatori operazionali.

In molte applicazioni, l'uscita deve oscillare verso un solo valore del binario di alimentazione, solitamente quello negativo o massa negli A.O. Single Supply. Un resistore pull-down collegato al terminale negativo

dell'alimentazione permette di raggiungere questo valore purché l'impedenza di carico (caso di collegamento current – sink) abbia un valore sufficientemente elevato oppure sia direttamente riferita a massa (caso di collegamento current – source); questa soluzione risulta comunque dinamicamente lenta per raggiungere il potenziale negativo. In alternativa al resistore di pull-down si possono inserire sullo stadio di uscita delle sorgenti di corrente costante a FET con aggravio della complessità del circuito e quindi l'impatto su altre prestazioni. Una soluzione con stadio d'uscita NMOS è mostrata in Figura 1B.

Con i moderni processi di integrazione di BJT complementari (CB stands for Complementary-Bipolar semiconductor process), si possono realizzare coppie PNP-NPN con caratteristiche di ingresso e uscita molto simili tra loro. Lo stadio di uscita ad inseguitore di emettitore con coppia complementare è mostrato in Figura 1C; tra i vari vantaggi tra cui la semplicità di pilotaggio, quello più importante è la bassa impedenza di uscita. Tuttavia, la tensione di uscita di questo stadio può avere una escursione entro il valore di circa V_{BE} entro il binario della tensione di alimentazione. Ad esempio un A.O. single supply alimentato a +5V con questo stadio d'uscita avrà una escursione da +1 V a +4 V.

Gli stadi di uscita complementari a emettitore comune o a source comune mostrati in Figura 2A e 2B rispettivamente, permettono alla tensione di uscita di avere una escursione molto più vicina ai limiti del binario di alimentazione, ma soffrono di un'impedenza di uscita ad anello aperto più alta della soluzione mostrata in Figura 2C. In pratica sfruttando l'alto guadagno ad anello aperto dell'amplificatore e la retroazione negativa si può ancora arrivare a valori di bassa impedenza di uscita (in particolare a frequenze inferiori a 10 Hz dove il guadagno ad anello aperto si mantiene elevato), realizzando così un amplificatore con uscita in tensione.

Un altro aspetto progettuale da tenere conto è la variazione del valore della resistenza di carico. Tipicamente è specificato per un dato A.O. op-amp il guadagno minimo con una resistenza di carico di 10 kOhm. Qualora l'impedenza di carico dovesse variare verso valori molto inferiori si deve tenere conto degli effetti di degrado sull'amplificazione, nemmeno stabilizzabili tramite la rete di retroazione. Per le stesse ragioni questi stadi di uscita possono portare l'A.O. ad essere più sensibile al valore di carico capacitivo rispetto alla soluzione di tipo emitter-follower, specialmente alle alte frequenze. Generalmente si trova sul data sheet il valore massimo del carico capacitivo prima che manifesti in uscita il fenomeno di sovra elongazione in presenza di fronti ripidi o addirittura l'instabilità.

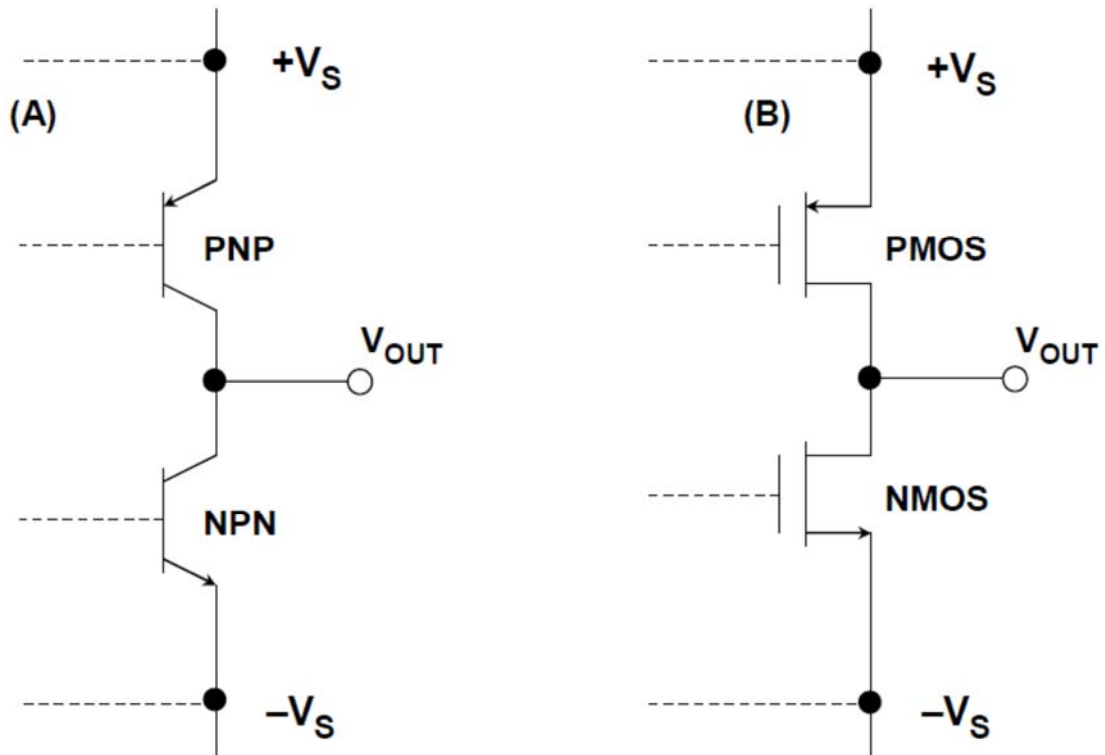


Figura 2. Stadi di uscita per A.O. con caratteristica RRIO : A) Versione a BJT; B) Versione a MOS FET.

Lo stadio di uscita con BJT complementari (Figura 2A) non può variare completamente fra i due limiti imposti dal binario dell'alimentazione, dovuta alla tensione di saturazione del transistor ($V_{CE_{SAT}}$). Per piccoli valori della corrente di carico (tipicamente inferiore a $100 \mu A$), la tensione di saturazione può variare tra 5 e 10 mV, e per correnti di carico elevate, la tensione di saturazione può aumentare fino a diverse centinaia di mV (per esempio 500 mV a 50 mA).

D'altra parte, uno stadio di uscita costruito CMOS FET (Figura 2B) può arrivare alla condizione ideale rail-to-rail output (*true RRO*), ma solo senza carico. Se l'uscita deve generare o assorbire una corrente I , il valore della tensione in uscita sarà ridotto di un fattore $I \times R_{ON}$ dovuta alla caduta interna del MOSFET a causa della resistenza di R_{ON} . Tipicamente R_{ON} sarà dell'ordine di 100Ω per amplificatori di precisione, ma può essere inferiore a 10Ω per alte correnti d'uscita degli amplificatori a CMOS.

Quindi non esiste un A.O. con RRO ideale (*true RRO*) ma si può ottenere un'escursione molto vicina al binario di alimentazione con valori di correnti di carico molto ridotti o a vuoto.