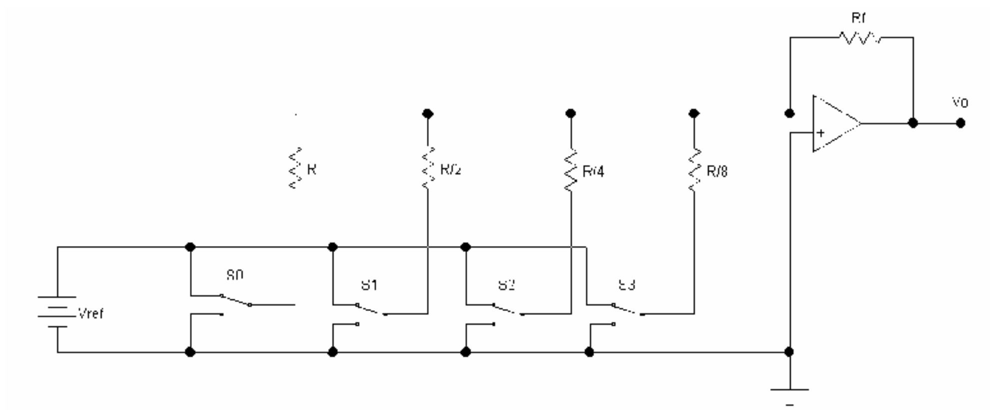
CONVERTITORE DIGITALE ANALOGICO (DAC)

Il DAC (Digital Analog Converter) è un dispositivo che riceve in ingresso una successione ordinata di livelli logici, interpretabili come un numero binario, e fornisce in uscita una unica tensione direttamente proporzionale al numero binario rappresentato nel registro di ingresso.
Quando i biti di ingresso sono tutti a zero, la tensione di uscita è nulla; quando gli ingressi sono tutti a 1, l'uscita assume il massimo valore.

Convertitore digitale analogico a resistenze pesate.

Analizziamo il circuito seguente:



Esso è sostanzialmente un sommatore. Il numero binario da trasformare è scritto negli ingressi del registro denominati S0, S1, S2, S3, …….; facciamo l'esempio a 4 bit, ma può essere esteso ad un numero qualsivoglia di cifre. Ogni ingresso può contenere la cifra 0 come tensione nulla o la cifra 1 come tensione ad un certo valore V, quindi si comporta come un generatore di tensione. Come tale, ognuna è collegata all'ingresso invertente di un operazionale attraverso una resistenza.
Queste resistenze partono dal valore R per la prima e progressivamente si dimezzano diventando R/2, R/4, R/8, R/16 ecc; la resistenza di retroazione ha valore R_f .

Applicando il primo principio di Kirchoff al nodo invertente, e che per il principio di massa virtuale tutte le resistenze collegate a massa attraverso gli interruttori non hanno effetto, si ha:

$$\frac{V_{out}}{R_f} = -\left(\frac{V_{S0}}{R} + \frac{V_{S1}}{R/2} + \frac{V_{S2}}{R/4} + \frac{V_{S3}}{R/8} + \ldots\ldots\ldots\right)$$

Quindi

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_{S0}}{R} + \frac{V_{S1}}{R/2} + \frac{V_{S2}}{R/4} + \frac{V_{S3}}{R/8} + ... \right) = -\frac{R_f}{R} \left(V_{S0} + 2V_{S1} + 4V_{S2} + 8V_{S3} + ... \right)$$

Quindi, a parte il segno meno e il fattore moltiplicativo R_f / R, V_{out} è la somma delle tensioni delle cellette, moltiplicate ciascuna per il proprio peso secondo le potenze di due. Tale peso è conferito dal particolare andamento delle resistenze che man mano si dimezzano.

Supponiamo, ad esempio che nel registro sia scritto il valore 13, ovvero, nella forma binaria: 1101, cioè S3=1, S2=1, S1=0, S0=1.

Avremo:

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R} \left(1 \cdot V_{ref} + 2 \cdot 0 + 4 \cdot V_{ref} + 8 \cdot V_{ref} \right) = -\frac{R_f}{R} \left(13 \cdot V_{ref} \right)$$

Se invece il registro contiene 5, in uscita risulta:

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R} \left(1 \cdot V_{ref} + 2 \cdot 0 + 4 \cdot V_{ref} + 8 \cdot 0 \right) = -\frac{R_f}{R} \left(5 \cdot V_{ref} \right)$$

Resta così dimostrato che la tensione di uscita, a parte il segno, è direttamente proporzionale al numero binario scritto in ingresso.

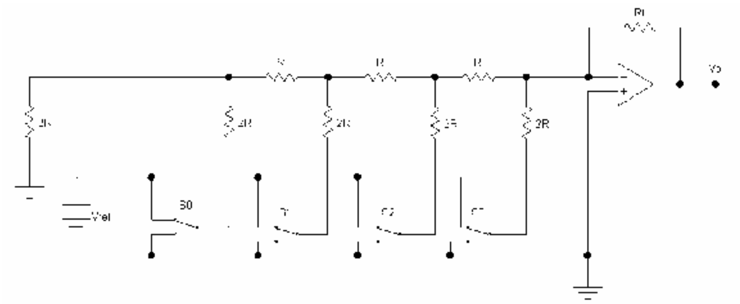
La bontà del dispositivo è determinata dall'accuratezza con cui in ciascuna celletta la tensione assume il valore zero o il valore V_{ref} e dall'accuratezza del valore delle resistenze. La resistenza R_f va regolata in modo che il massimo numero binario dia in uscita la massima tensione consentita. Come si vede, il dispositivo è molto semplice e realizzabile con pochi componenti. Può essere esteso allungando il registro a un maggior numero di bit e collegando altre resistenze. È facile calcolare che, con un registro di N bit, l'ultima resistenza ha valore $\frac{R}{2^{N-1}}$.

Ed è proprio questo il limite del dispositivo. Infatti, supponendo di avere, ad esempio, un registro a 8 bit, l'ultima resistenza dovrebbe avere valore R/128, cioè 128 volte più piccola della prima. Se R è affetta dall'1% di imprecisione, il valore R/128 viene ad essere più piccolo dell'imprecisione di R e quindi il suo valore non avrebbe significato.

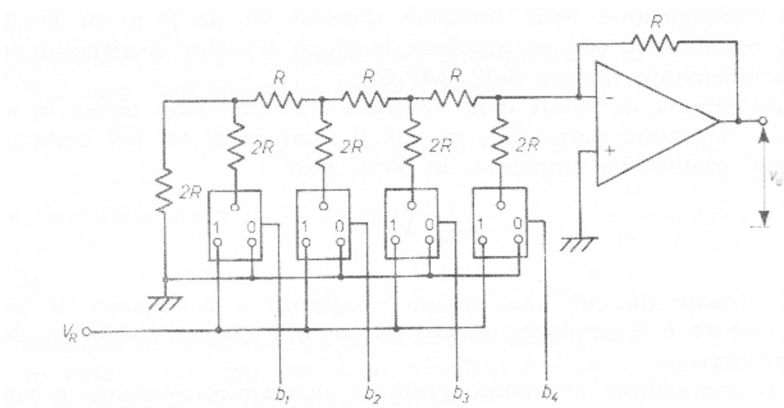
Convertitori con rete resistiva del tipo R -2R

Il problema di realizzare resistenze diverse, posto nel caso precedente, può essere risolto mediante un ladder nel quale si hanno 2 soli valori di resistenza (R e 2R).

Lo schema del convertitore con ladder del tipo R -2R, per codice a 4 bit è rappresentato nella seguente figura:



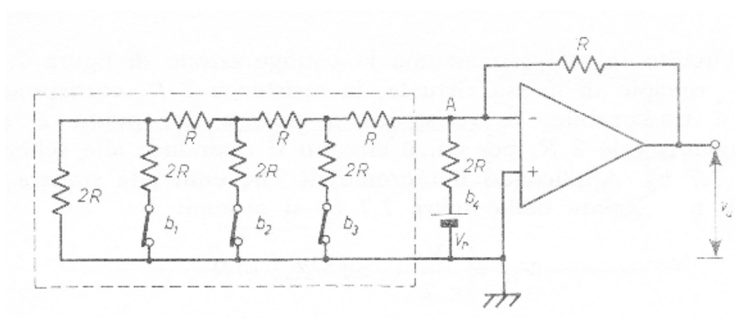
Equivalente al seguente nel caso in cui $R = R_f$:



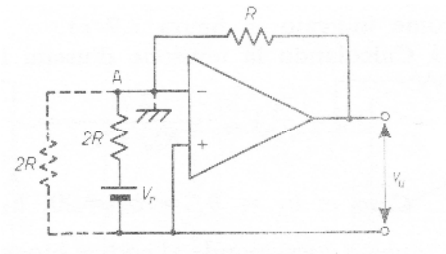
Come si osserva, le resistenze che compongono il ladder sono tutte di valore R o 2R.

Consideriamo il caso in cui: b1 = b2 = b3 = 0; b4 = 1 questo corrisponde al codice binario 1000.

Lo schema diviene quello di figura:



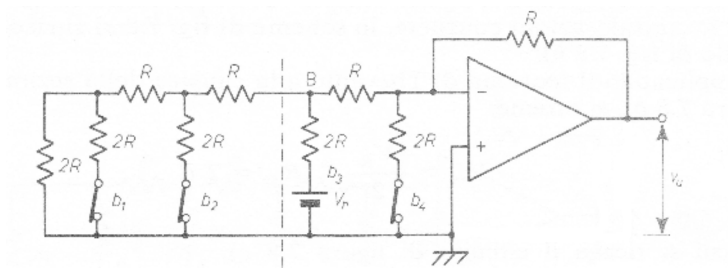
Il circuito alla sinistra del punto A ha resistenza totale 2R



La tensione in uscita dall'operazionale vale: $V_u = -V_r \frac{2R}{2R+2R} \cdot R \cdot \frac{2R \cdot 2R}{2R+2R} = -\frac{V_r}{2}$

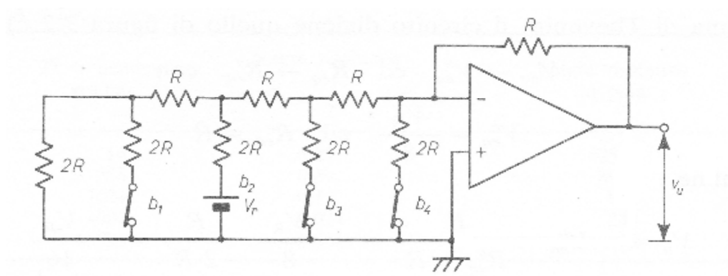
Analizziamo ora il caso in cui: b1 = b2 = b4 = 0; b3 = 1 che corrisponde al codice binario 0100.

Il circuito è il seguente:



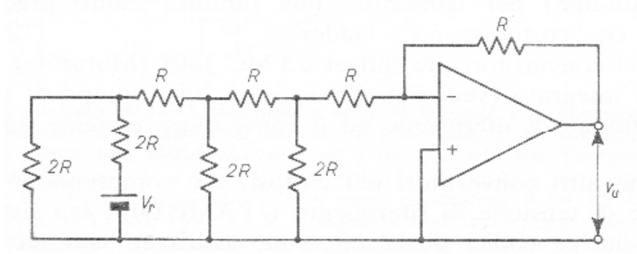
Si dimostra facilmente che $V_u = -\frac{V_r}{4}$

Nel caso in cui b1 = b3 = b4 = 0; b2 = 1 che corrisponde al codice binario 0010 il circuito equivale al seguente



In questo caso $V_u = -\frac{V_r}{8}$

Nel caso ultimo in cui b2 = b3 = b4 = 0; b1 = 1 che corrisponde al codice binario 0001 e allo schema di figura



Con le consuete considerazioni, si dimostra che $V_u = -\frac{V_r}{16}$

Conclusioni

Ritenendo applicabile il principio di sovrapposizione degli effetti, si giunge alla relazione generale; $V_u = -V_r\left(\frac{b_4}{2}+\frac{b_3}{4}+\frac{b_2}{8}+\frac{b_1}{16}\right)$ che dimostra il funzionamento del dispositivo in esame come convertitore