

ESERCIZIO N° 12.27 PAG. 547, JAEGER: MICROELETTRONICA*Descrizione del problema*

Il circuito mostrato in Fig. 1 rappresenta un convertitore digitale analogico (DAC) a 4 bit con rete resistiva del tipo R-2R. Assumendo un amplificatore operazionale ideale, determinare l'espressione della tensione di uscita in funzione della generica cifra binaria $b_1b_2b_3b_4$. Si determini inoltre il valore della tensione di uscita in corrispondenza della cifra binaria 1011.

Dati: $V_R = 2.5$ V, $R = 12$ k Ω

Soluzione

Come si evince dalla Fig. 1, i bit corrispondenti alla cifra binaria da convertire, tramite la posizione dei deviatori elettronici determinata dal valore 0 o 1 del bit corrispondente, causano l'applicazione di una tensione nulla oppure pari a V_R all'ingresso corrispondente. Pertanto, tali deviatori possono essere sostituiti da generatori equivalenti, secondo quanto mostrato in Fig. 2. La tensione di uscita, applicando il principio di sovrapposizione degli effetti, risulta:

$$(1) \quad \begin{aligned} v_o &= v_{o4} + v_{o3} + v_{o2} + v_{o1} = G_4 b_4 V_R + G_3 b_3 V_R + G_2 b_2 V_R + G_1 b_1 V_R \\ &= V_R (G_4 b_4 + G_3 b_3 + G_2 b_2 + G_1 b_1) \end{aligned}$$

Per il calcolo del guadagno relativo al generatore $b_4 V_R$, analizziamo il circuito equivalente di Fig. 3 in cui gli altri generatori di tensione $b_n V_R$ ($n = 1, 2, 3$) sono stati annullati (cortocircuitati). Applicando Thevenin al circuito a sinistra della sezione mostrata in Fig. 3 si ottiene il circuito di Fig. 4a, in cui il generatore di tensione secondo Thevenin ha una tensione pari a metà della tensione del generatore originario $b_4 V_R$ e la resistenza di uscita è pari a $2R$. Applicando iterativamente Thevenin alle sezioni di circuito successive, si perviene facilmente ai circuiti equivalenti di Fig. 4b-d in cui, ad ogni passaggio, il generatore equivalente secondo Thevenin viene diviso per 2. In definitiva, dalla Fig. 4d, la tensione di uscita v_{o4} vale:

$$(2) \quad v_{o4} = -\frac{R}{R} 2^{-4} b_4 V_R \Rightarrow G_4 = -2^{-4}$$

Applicando lo stesso procedimento per il calcolo dei contributi degli altri generatori $b_n V_R$ ($n = 1, 2, 3$), si trova facilmente che:

$$(3) \quad v_{on} = -\frac{R}{R} 2^{-n} b_n V_R \Rightarrow G_n = -2^{-n}$$

Pertanto, la tensione di uscita complessiva vale:

$$(4) \quad v_o = -V_R (2^{-4} b_4 + 2^{-3} b_3 + 2^{-2} b_2 + 2^{-1} b_1) = -2^{-4} V_R (2^0 b_4 + 2^1 b_3 + 2^2 b_2 + 2^3 b_1)$$

Come si può osservare ciascun ingresso è pesato secondo il valore della corrispondente cifra binaria. Al bit meno significativo corrisponde una tensione di uscita pari a 156.3 mV.

La tensione di uscita in corrispondenza della cifra binaria 1011 vale -2.0313 V.

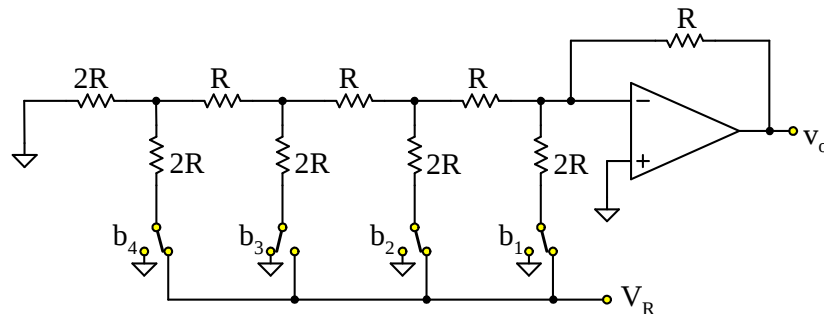


Fig. 1– Schema di un convertitore digitale/analogico (DAC) a 4 bit con rete R-2R

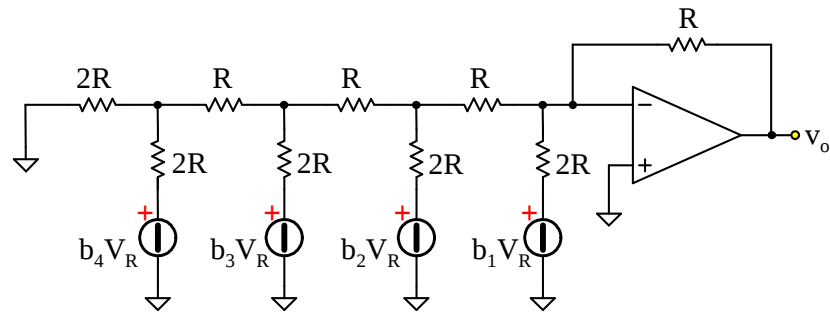


Fig. 2– Schema equivalente del convertitore digitale/analogico a 4 bit con rete R-2R

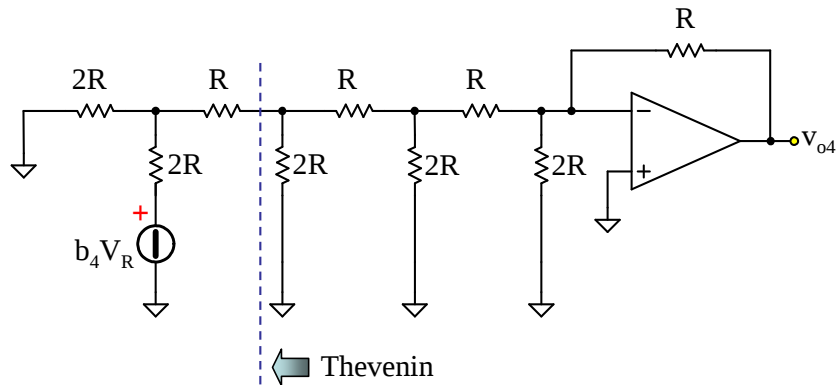
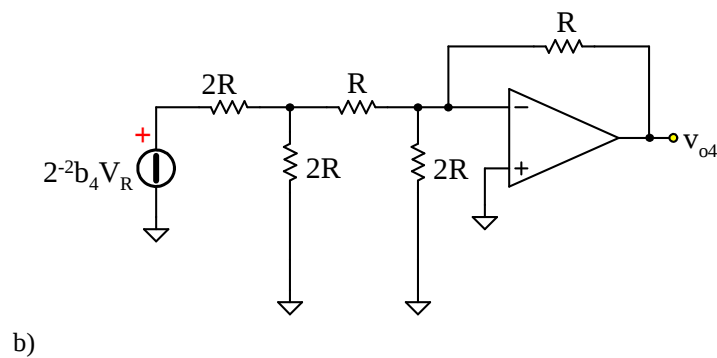
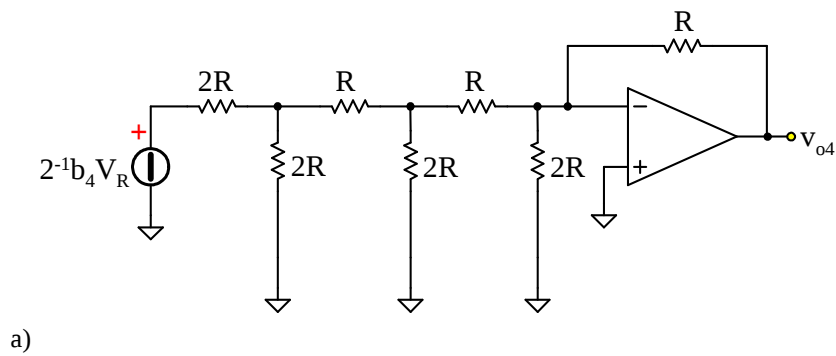


Fig. 3– Circuito equivalente per il calcolo della tensione di uscita v_{04} dovuta al solo generatore b_4V_R



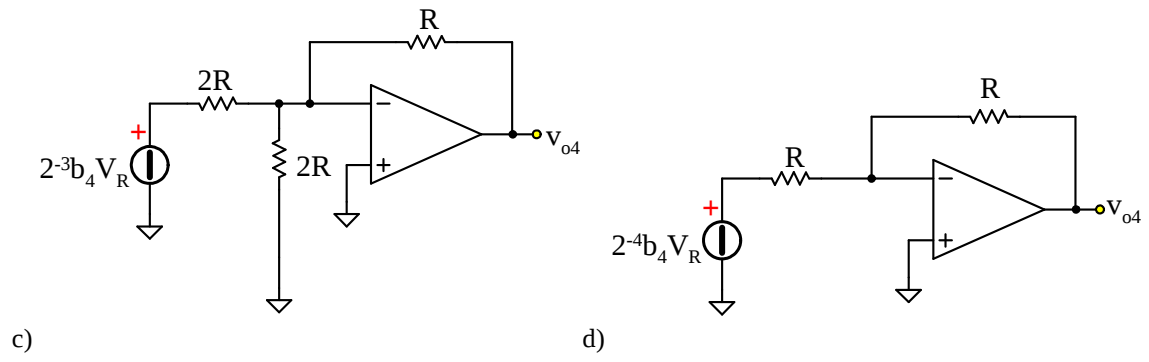


Fig. 4– Circuiti semplificati mediante applicazione iterativa del principio di Thevenin per il calcolo di v_{o4}