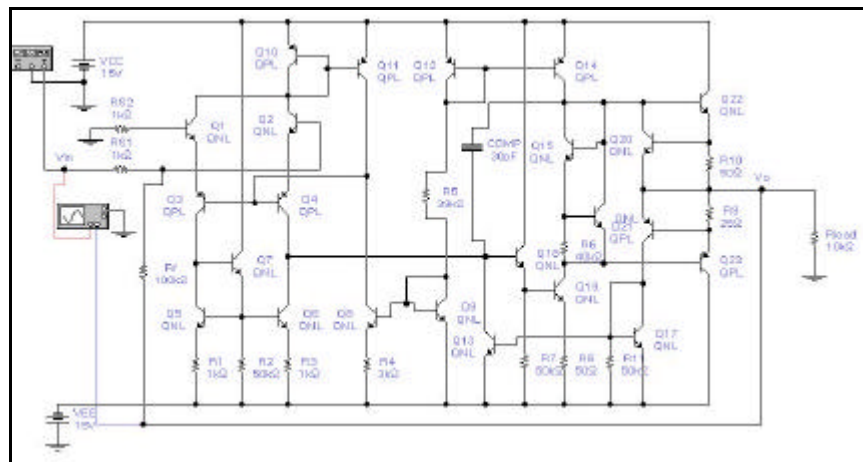

Corso Abilitante A034 – Elettronica

A.S.: 2000/2001

U.D. : Introduzione allo studio degli amplificatori operazionali.

Proposta di un piano di lavoro per lo svolgimento di un'unità didattica introduttiva sugli Amplificatori Operazionali



Corsisti:

Antonio Cuomo

Mariaconcetta Iasimone

Nicola Monforte

Premessa

L'unità didattica in oggetto si inserisce in un modulo sugli amplificatori operazionali e le relative applicazioni lineari.

L'argomento degli amplificatori operazionali può essere trattato in una quarta classe di un Istituto tecnico industriale indirizzo Elettronica e Telecomunicazioni.

La collocazione temporale dell'unità didattica potrebbe essere nei mesi di settembre/ottobre.

Prerequisiti

- Nozioni elementari sugli amplificatori lineari
- Parametri caratteristici e funzioni di rete
- Modello circuitale equivalente dell'amplificatore di tensione
- Concetti elementari della rappresentazione di un sistema mediante modelli
- Proprietà fondamentali dell'amplificatore differenziale
- Teoremi fondamentali delle reti elettriche

Obiettivi generali

- Capacità di analisi e di rappresentazione del funzionamento dei circuiti utilizzando modelli adeguati
- Capacità di seguire la varietà e l'evoluzione della realtà tecnologica
- Attitudine al lavoro di gruppo

Obiettivi specifici di apprendimento

- Conoscenza delle principali caratteristiche circuitali dell'amplificatore operazionale
- Conoscenza del concetto di massa virtuale
- Conoscenza delle caratteristiche ideali di un amplificatore operazionale
- Conoscenza delle principali differenze tra comportamento ideale e reale di un amplificatore operazionale
- Saper disegnare correttamente lo schema di un amplificatore differenziale
- Saper estrapolare dai data sheets i parametri caratteristici di un amplificatore operazionale di uso commerciale

Contenuti

- *Generalità*

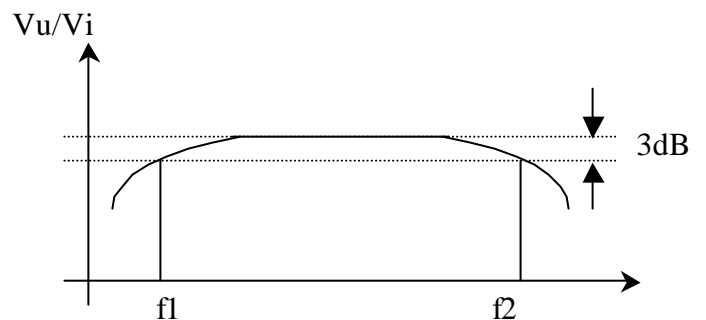
Si chiama amplificatore un dispositivo capace di aumentare l'ampiezza o il livello di una grandezza fisica, variabile nel tempo, senza alterarne la forma d'onda. Gli amplificatori elettronici sono costituiti da uno o più elementi circuitali attivi e da una sorgente esterna di energia.

Gli elementi attivi controllano la potenza erogata dalla sorgente di energia esterna quando vengono pilotati dal segnale di ingresso, che è ad un basso livello di potenza. In questo modo il segnale d'ingresso viene riprodotto all'uscita, ma ad un livello di potenza maggiore. Si ribadisce il fatto che un amplificatore per funzionare ha sempre bisogno di una sorgente esterna di energia, che opportunamente controllata da luogo al segnale di uscita.

Si definisce *guadagno* di un amplificatore il rapporto tra il valore del segnale di uscita ed il valore di quello d'ingresso, esso è anche

espresso in decibel $G_{dB} = 20 \text{Log} \frac{V_u}{V_i}$, una

delle comodità di questa notazione è che se un segnale attraversa due o più dispositivi in cascata, il guadagno complessivo è dato dalla somma dei singoli guadagni (tutti espressi in dB).



Un altro parametro importante di un amplificatore è la *larghezza di banda* data dalla differenza tra la frequenza di taglio superiore ed inferiore (sono le due frequenze alle quali il guadagno di tensione si riduce di 3dB del valore iniziale), nei cosiddetti amplificatori in continua la frequenza di taglio inferiore coincide con lo zero. Se le frequenze sono vicine si hanno degli amplificatori molto selettivi. In tutti gli amplificatori si ha una frequenza di taglio superiore finita in quanto al crescere della frequenza le inevitabili capacità parassite in parallelo costituiscono un filtro passa basso.

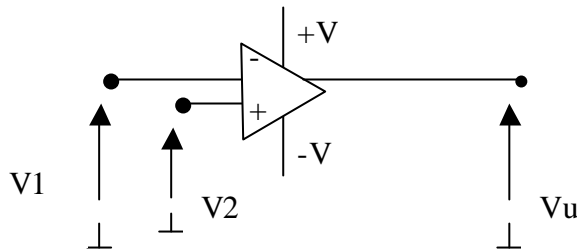
- *Amplificatori operazionali*

L'amplificatore operazionale è un amplificatore in continua a più stadi che prende il nome dal fatto che in passato è stato usato per realizzare elaboratori analogici in grado di effettuare somme, differenze, integrazioni ed altre operazioni sui segnali analogici in ingresso.

Inizialmente vennero realizzati a tubi elettronici, poi a transistor, e, infine con circuiti integrati

monolitici. Attualmente si producono amplificatori operazionali integrati a basso costo che con l'aggiunta di pochi componenti passivi esterni permettono di realizzare i più svariati tipi di circuito.

L'amplificatore operazionale è caratterizzato dall'aver una uscita e due ingressi, che prendono il nome di ingresso invertente e ingresso non invertente; il segnale d'uscita è legato



agli ingressi dalla relazione $v_u = A \cdot (v_1 - v_2)$ dove A è il guadagno a catena aperta, cioè senza nessun collegamento esterno tra uscita ed ingresso dell'operazionale.

Per una buona conoscenza degli amplificatori operazionali occorre essere in grado di apprezzare i dati caratteristici forniti dal costruttore sui data sheets. Prima di procedere vediamo le caratteristiche cui deve soddisfare un amplificatore operazionale per esser definito *ideale*.

Un amplificatore operazionale si dice ideale se soddisfa le seguenti caratteristiche:

- guadagno di tensione ad anello aperto $A = \infty$;
- resistenza d'ingresso $R_{in} = \infty$;
- resistenza d'uscita $R_{out} = 0$;
- larghezza di banda $B = \infty$ ($f_1=0$, $f_2=\infty$);
- $CMRR = \infty$

Il CMRR (rapporto di reiezione al modo comune) è definito come $CMRR = \frac{A_d}{A_c}$ dove

$$A_d = \frac{V_u}{V_1 - V_2} \text{ ed } A_c = \frac{V_u}{\frac{V_1 + V_2}{2}}, \text{ tale parametro è fornito dal costruttore e per il caso dei}$$

modelli reali usualmente in commercio vale mediamente $10^5 \div 10^6$.

Tra le principali conseguenze delle caratteristiche ideali, ricordiamo quello notevole della *massa virtuale*. Poiché nel caso ideale $A_d = \infty$ ne consegue che $V_1 - V_2 = 0$ e dunque $V_1 = V_2$, cioè il morsetto invertente e quello non invertente sono allo stesso potenziale. Ma poiché, sempre nel caso ideale $R_{in} = \infty$ al morsetto invertente ed a quello non invertente non si ha assorbimento di corrente e quindi abbiamo una massa rispetto alle tensioni e non rispetto alle correnti.

Un tale dispositivo ideale avrebbe delle proprietà molto interessanti: non assorbirebbe potenza dallo stadio precedente e sarebbe in grado di fornire potenza a qualsiasi carico senza cadute interne. inoltre sarebbe impossibile utilizzarlo senza una adeguata rete di reazione in quanto anche con u ingresso piccolissimo si avrebbe un'uscita infinitamente grande.

Le caratteristiche degli amplificatori operazionali reali si discostano in parte da quelle degli amplificatori operazionali ideali, in generale la resistenza d'ingresso, pur se grandissima non è mai infinita, la resistenza d'uscita pur se piccolissima non può essere nulla, il guadagno di tensione A_d non è infinito, come pure il CMRR e la banda passante degli amplificatori operazionali reali è limitata.

Riportiamo di seguito le principali caratteristiche di alcuni operazionali di uso comune:

		$\mu A741$	OP17	OPA27HT
Guadagno	A	200000	300000	1000000
Resistenza d'ingresso	R_{in}	2 M Ω	10 ¹² Ω	3·10 ¹² Ω
Resistenza d'uscita	R_{out}	75 Ω	70 Ω	70 Ω
Larghezza di banda	B	1 MHz	30 MHz	36 MHz

L'amplificatore operazionale per poter funzionare, ovviamente, come tutte le apparecchiature elettriche ed elettroniche, ha bisogno di una alimentazione che è di tipo duale V_{cc+} e V_{cc-} che è solitamente di 15 volts.

Il simbolo dell'amplificatore operazionale è rappresentato in figura 1.

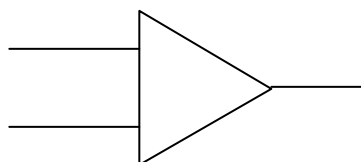


Figura 1: simbolo di un A.O.

In figura 2 sono invece indicati i collegamenti dell'amplificatore operazionale e la relativa piedinatura.

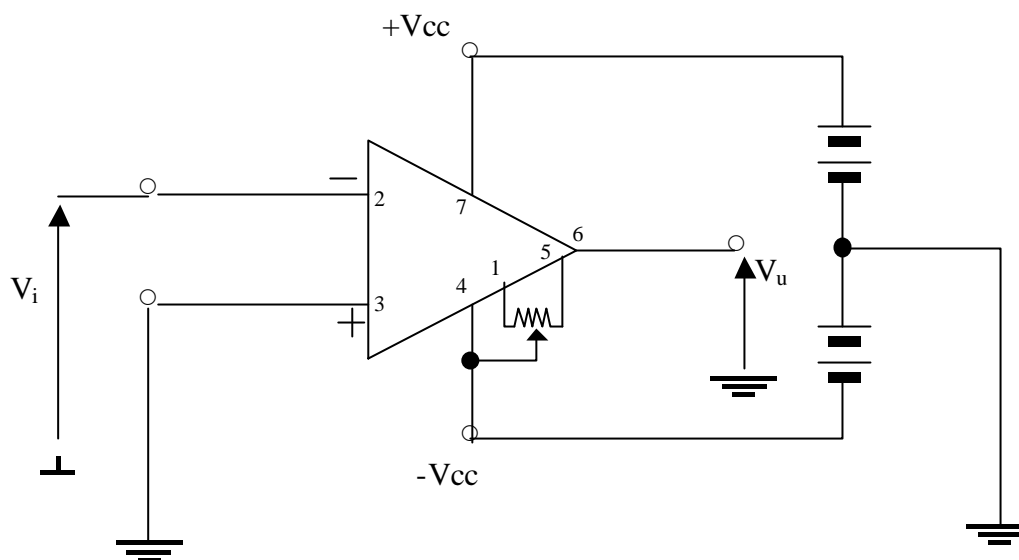


Figura 2: collegamenti di un amplificatore operazionale 741

Un inconveniente di molti operazionali è che la loro tensione di uscita può cambiare lentamente di valore con il tempo e con le variazioni di temperatura.

Questo cambiamento è in gran parte causato da variazioni interne dell'amplificatore che provocano all'uscita dell'amplificatore operazionale la comparsa di una tensione diversa da zero (chiamata tensione di *offset*).

Questa tensione può essere riportata a zero manualmente con un potenziometro collegato come in figura; l'azzeramento si ottiene applicando contemporaneamente potenziale zero ai due terminali d'ingresso e cercando la posizione dello scorrevole del potenziometro in corrispondenza della quale la tensione continua d'uscita dell'amplificatore operazionale vale zero.

Questa operazione va compiuta non molto di frequente, ed in certi casi è possibile ometterla del tutto; è consigliabile consultare i data sheets forniti dal costruttore per accertarsi di eventuali indicazioni in merito.

In figura 3, è riportata la rappresentazione schematica di un tipico integrato, tipo $\mu A741$, con la numerazione della piedinatura, il contenitore è con 8 terminali in doppia fila, di cui uno non connesso e precisamente il numero 8.

Il segnale totale applicato all'ingresso dell'amplificatore è la differenza dei potenziali V_1 (pin 2) e V_2 (pin 3) e si chiama tensione differenziale d'ingresso. Pertanto

questo tipo di amplificatore prende anche il nome di *amplificatore con ingresso differenziale* o semplicemente amplificatore differenziale.

Altri dati caratteristici di un amplificatore operazionale sono la resistenza di modo comune, ovvero la resistenza che si vede da uno degli ingressi verso massa quando l'altro è isolato.

La *tensione di offset*, cioè la tensione che deve essere applicata tra i morsetti d'ingresso affinché sia nulla la tensione d'uscita.

Le correnti di polarizzazione d'ingresso (di BIAS), ovvero la media delle correnti di polarizzazione assorbite ai due ingressi (cfr. figura 4).

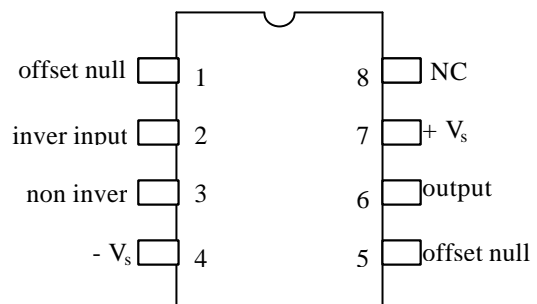


Figura 3: diagramma di connessione per un amplificatore operazionale di uso comune (dual-in-line-package)

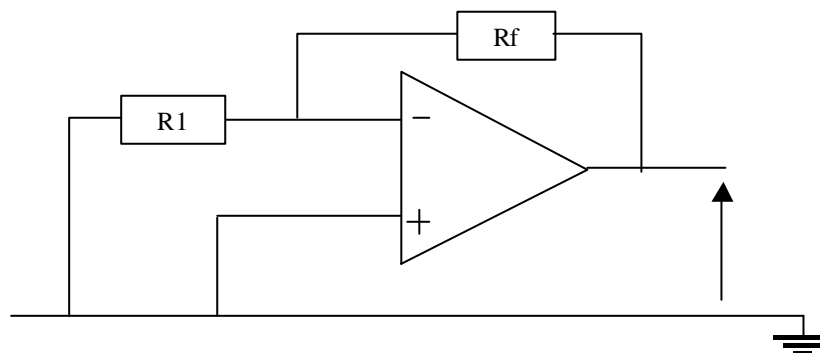


Figura 4

La corrente di fuoriuscita d'ingresso (offset d'ingresso) è la differenza tra le due correnti di polarizzazione d'ingresso necessaria per portare a zero la tensione d'uscita.

Il campo di tensione d'ingresso è la gamma di valori della tensione d'ingresso di modo comune, cioè tra ciascuno degli ingressi e la massa.

Per alcuni circuiti integrati la tensione può variare tra $\pm 15V$

La resistenza d'uscita è la resistenza che si vede dall'uscita dell'amplificatore operazionale collegato in catena aperta. Per massima tensione d'uscita s'intende la massima tensione che può esserci all'uscita e che non produca saturazione o distorsione del segnale.

Per gli amplificatori operazionali usualmente in commercio il valore tipico è di $\pm 13,5$ V.

La corrente di c.c. è la massima corrente che l'amplificatore operazionale può fornire al carico (circa 25 mA)

Lo *slew rate* dato da

$$S = -\frac{\Delta V}{\Delta t}$$

representa la massima velocità di variazione della tensione d'uscita nel passaggio dal massimo valore positivo al massimo negativo e viceversa, in risposta ad un'onda quadra (cfr. figura 5).

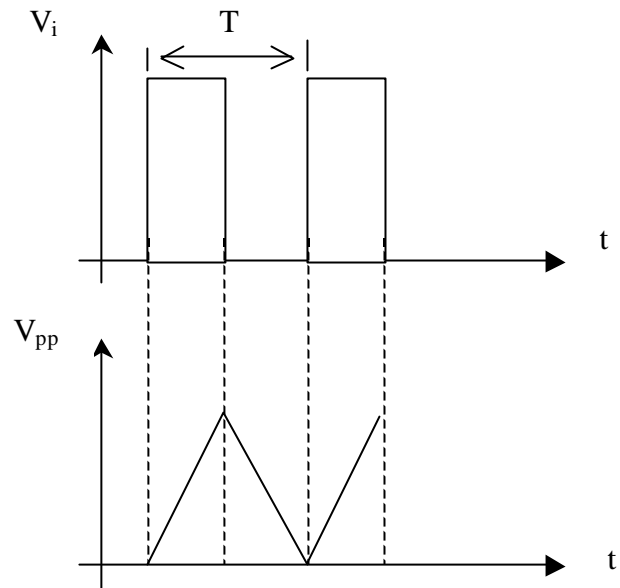


Figura 5:slew rate

La frequenza limite è data da $f \cong \frac{S}{2 \cdot V_{pp}}$ al di sopra della quale il segnale comincia ad essere tagliato anche in ampiezza.

La *risposta in frequenza*: in un amplificatore operazionale tra il guadagno di tensione a catena aperta e la frequenza esiste una precisa relazione che si può considerare nel seguente modo: $A \cdot B = F_t$ dove A è il guadagno e B è la larghezza di banda, mentre F_t è la frequenza di merito, solitamente dell'ordine del MHz.

Fasi didattiche

- *lezione frontale*
- *lezione dialogata*
- *esercitazione in classe*
- *esercitazione in laboratorio*

Mezzi

- *lavagna*
- *laboratorio di elettronica*
- *aula multimediale*
- *workbench*

Verifica d'apprendimento

- *esercitazione in classe come verifica formativa*
- *simulazione e relazione in laboratorio*

Tempi di attuazione

- *due ore in classe (lez.1)*
 - *due ore in laboratorio (lez.2)*
 - *un ora per la verifica (lez.3)*
- 5 ore complessive, salvo eventuale attività di recupero.*

Verifica e valutazione

Esempio di una prova di verifica formativa da somministrare alla fine dell'unità didattica.

Nel caso d'apprendimenti di contenuti come quelli esposti nella presente unità didattica, che richiedano sostanzialmente dei processi di assimilazione e comprensione, si ritiene opportuno il ricorso a prove di profitto di tipo chiuso (stimolo chiuso- risposta chiusa): test oggettivi che definiscono in termini precisi lo stimolo da somministrare ed anche la risposta che l'allievo deve produrre; in tal modo si potrà verificare un giudizio costante e un notevole accordo intersoggettivo. Le prove chiuse (test vero/falso, test a scelta multipla, etc.) misurano la prestazione cognitiva degli allievi in modo da rendere minimi i margini di soggettività dei docenti nel giudicare gli esiti della prestazione, e costituiscono un puntuale ed efficace feedback per gli alunni ed l'insegnante stesso.

Si ribadisce che la verifica dell'apprendimento non deve essere un fatto eccezionale dell'attività didattica. Gli alunni, infatti, devono percepire le prove di verifica come momenti ordinari dell'attività scolastica che consentano di rilevare, nel loro interesse, la preparazione raggiunta e di acquisire consapevolezza in relazione al progredire dell'apprendimento.

Lo studente ha diritto ad una valutazione trasparente e tempestiva, volta ad attivare un processo di autovalutazione che lo conduca ad individuare i propri punti di forza e di debolezza e a migliorare il proprio rendimento.

- *Criteri di formulazione della prova*

A conclusione della presente unità didattica si propone una prova di verifica formativa di tipo strutturato e precisamente quesiti a scelta multipla. Il quesito a scelta multipla consta di una domanda iniziale che indicheremo col termine *stimolo*, seguita da risposte, dette *items*, una sola delle quali è corretta, le altre sono dette *distrattori* e sono verosimili a quella corretta.

Si è avuto cura di avere una sola risposta corretta; le risposte possibili per ciascuna domanda sono quattro, i distrattori sono tutti verosimili, la domanda viene formulata in modo semplice e lineare, si evita in particolare la doppia negazione e la formulazione in modo non negativo; per quanto possibili si è cercato di fare in modo che il quesito sia formulato in modo completo nella frase introduttiva. Ovviamente si includono nella frase introduttiva tutte le parole che altrimenti dovrebbero ripetersi ogni volta, mentre in relazione a ciò le risposte possibili sono formulate in modo da avere coerenza grammaticale con la frase introduttiva.

- *Verifica con quesiti a scelta multipla*

1. Un amplificatore operazionale fornisce un segnale in uscita che rispetto al segnale d'ingresso ha:

- a. un'ampiezza maggiore
- b. un'ampiezza minore
- c. una frequenza maggiore
- d. una frequenza minore

2. Cosa s'intende per amplificazione di un amplificatore operazionale ?

- a. il rapporto tra il valore del segnale d'uscita e quello d'ingresso
- b. il rapporto tra il valore del segnale d'ingresso e quello d'uscita
- c. la differenza tra il valore del segnale d'uscita e quello d'ingresso
- d. la banda d'amplificazione

3. L'amplificatore operazionale può avere:

- a. due uscite
- b. due terminali operativi
- c. tre terminali operativi
- d. quattro terminali operativi

4. Il CMRR rappresenta:

- a. il rapporto tra la frequenza del segnale d'ingresso e quella d'uscita
- b. la differenza tra l'amplificazione di modo comune e l'amplificazione di modo e l'amplificazione di modo differenziale
- c. il rapporto tra l'amplificazione di modo differenziale e l'amplificazione di modo comune
- d. il rapporto tra la resistenza d'uscita e quella d'ingresso

5. I pins (piedini) di un amplificatore operazionale con alimentazione duale sono:

- a. 6
- b. 8
- c. 10
- d. 4

6. Con riferimento alle caratteristiche ideali di un amplificatore operazionale le impedenze d'ingresso e d'uscita sono rispettivamente:

- a. $\infty \infty$
- b. $0 0$
- c. $\infty 0$
- d. 0∞

7. In un amplificatore operazionale ideale la banda può essere:

- a. passa basso
- b. passa alto
- c. passa banda
- d. infinita

8. Lo slew rate rappresenta la:

- a. massima velocità di variazione della tensione d'uscita dal valore massimo al valore minimo in risposta ad un'onda quadra in ingresso
- b. la minima variazione della tensione d'uscita in risposta ad un'onda quadra in ingresso
- c. massima velocità di variazione della corrente d'uscita
- d. minima velocità di variazione della corrente d'ingresso

9. Per massa virtuale s'intende:

- a. la massa a cui colleghiamo l'uscita
- b. un punto che si trova a potenziale zero pur non essendo fisicamente collegato a massa
- c. una massa astratta
- d. quella massa che manda in saturazione l'amplificatore

10 L'amplificazione di tensione di un amplificatore operazionale è:

- a. un numero puro
- b. un numero immaginario
- c. espressa in volt
- d. espressa in ampere

- *Correzione della prova di verifica*

Nel corso della correzione delle prove oggettive il docente può rendersi conto della tendenza della scolaresca a dare delle risposte casuali piuttosto che non darne, oppure viceversa ad omettere la risposta per paura di sbagliare. Dopo un congruo numero di prove, già dalle prove d'ingresso e dalle prime prove di verifica ci si potrà render conto di ciò, il docente può far ricorso a degli opportuni correttivi per affrontare la problematica.

Quando si introducono i correttivi i discenti devono esserne sempre informati, così come devono essere informati sul criterio di misurazione e la soglia minima di sufficienza.

Un correttivo per scoraggiare le risposte casuali è indicato di seguito.

Per portare gli studenti insicuri a omettere la risposta piuttosto che affidarsi al caso si può adottare il seguente criterio di misurazione:

$$P = E + \frac{O}{N}$$

dove: P = punteggio "reale" attribuito

E = numero delle risposte esatte

O = numero delle risposte omesse

N = numero delle risposte tra cui scegliere per ogni quesito

Il secondo correttivo che si potrebbe adottare è volto a sottrarre punti alle risposte sbagliate, esso si basa sull'ipotesi che esista una correlazione positiva tra il numero delle risposte sbagliate e la casualità di quelle corrette: quanto maggiore è il numero delle risposte sbagliate, tanto maggiore è la probabilità che quelle giuste siano casuali.

Il criterio di misurazione è il seguente:

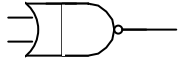
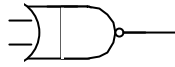
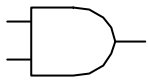
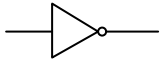
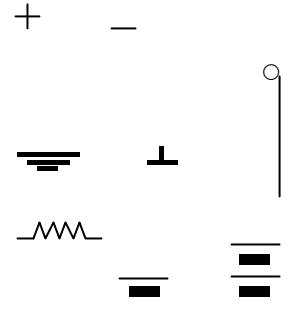
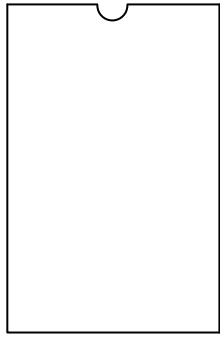
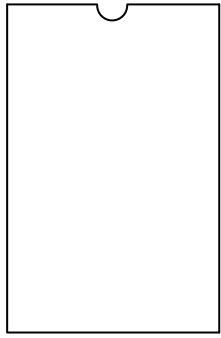
$$P = E - \frac{S}{N - 1}$$

dove: P = punteggio "reale" attribuito

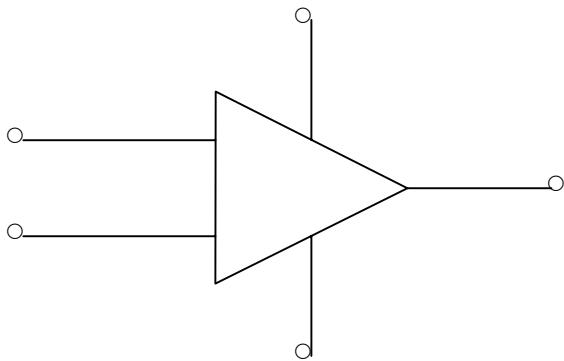
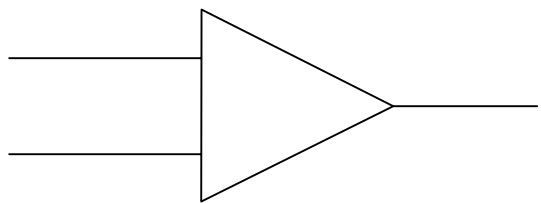
E = numero delle risposte esatte

S = numero delle risposte sbagliate

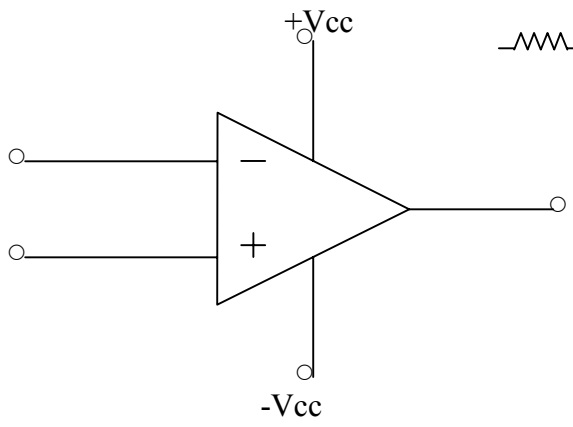
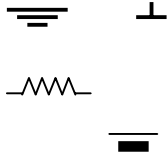
N = numero delle risposte tra cui scegliere per ogni quesito



o o



+ -



resistor symbol

