

# AMPLIFICATORI DI ALTE PRESTAZIONI QUALI TRANSISTOR?

parte  
seconda

di  
bartolomeo  
aloia

Riprendo con questa seconda puntata l'articolo iniziato sul n. 80 della Rivista. Rammento che il primo obiettivo di questa serie, che ha finalità esclusivamente pratiche, è quello di imparare a scegliere un finale, o meglio, una coppia di finali. Ma è illusorio pensare che l'obiettivo possa essere solo questo. Che ne direste infatti se, dopo avervi costretto a leggere decine e decine di pagine, ed avervi additata questa o quella coppia di finali, vi lasciassi con la coppia stessa tra le mani, con qualche biglietto da mille in meno nelle tasche, senza insegnarvi ad usarla? E' chiaro che dobbiamo imparare ad usarla!

Perciò devo mettervi in guardia sul fatto che se vogliamo che ciò avvenga in tempi ragionevoli, la mia trattazione dovrà essere esclusivamente tecnica senza indulgenza e concessioni alla volgarizzazione gratuita. Vi chiedo quindi la pazienza necessaria a cimentarvi con le semplici formule che vi proporrò; da parte mia eviterò ferocemente qualsiasi inutile sfoggio di cultura e ciò si traduce in una proposizione semplice ma estremamente precisa: le formule proposte saranno solo ed esclusivamente quelle che possono fornirci numeri idonei ai nostri fini costruttivi.

Data l'onerosità del lavoro che ci attende abbandoniamo ogni preambolo ed entro subito nel vivo dell'argomento.

## Esame del meccanismo di conduzione della corrente nei transistori finali

Per poter capire in qual modo i transistori finali erogano una potenza su un carico qualsivoglia o dissipino essi stessi una certa potenza è necessario fare un esame un po' particolareggiato del funzionamento del circuito a due maglie contenente i due finali e l'alimentatore.

Noterete innanzitutto che ho usato due locuzioni diverse: erogare una certa potenza, dissipare una certa potenza. Un amplificatore da 50 Watt eroga una potenza di 50 Watt su un carico resistivo il quale dissipa questi 50 Watt., ma al suo interno e precisamente sui finali esso non dissipa tale potenza ma una molto minore. Quando il carico diventa reattivo la potenza dissipata da esso diminuisce mentre aumenta quella dissipata dall'amplificatore. In condizioni di massima reattività, cioè con angolo di fase teoricamente uguale a  $90^\circ$ , si riduce al minimo la potenza dissipata dal carico (teoricamente a zero) mentre raggiunge il massimo la potenza dissipata dentro l'amplificatore. In sostanza il dire che un amplificatore da 50 Watt «dissipa» 50 Watt è formalmente errato. Ma andiamo per ordine e procediamo nel nostro esame.

Nella figura 1) vediamo schematizzato lo stadio finale nel quale due transistori di potenza vengono alimentati con una tensione sinusoidale. Un esame delle solite ipotesi semplificatrici.

a) La polarizzazione dello stadio si suppone in classe B pura ma si considerano influenti, in quanto trascurabili ai fini del bilancio energetico, i problemi relativi all'incrocio.

b) Si considera lo stadio come un trasferitore di tensione a guadagno unitario; in altre parole la tensione che si ritrova sul carico è uguale

a quella presente in entrata (sappiamo invece che vi sono forti variazioni nella corrente, trasferita).

c) Il carico è costituito da una pura resistenza, caso assolutamente impossibile da trovarsi in pratica, ma tuttavia importante da esaminarsi per primo in quanto più semplice. In tali condizioni ciascuna metà sinusoidale viene a costituire la tensione collettore emettitore di un transistor finale e quindi in condizioni di riposo a ciascun dispositivo risulta la tensione  $V_a/2$ .

Si inizi a considerare la metà positiva della sinusoidale. Perché sul carico possa ritrovarsi questa stessa semisinusoide il punto C deve spostarsi verso l'alto, cioè verso la tensione positiva di alimentazione. Perché C si sposti verso l'alto la tensione ai capi di  $T_1$  deve diminuire. Corrispondentemente, perché sul carico possa circolare corrente in senso positivo, la corrente in  $T_1$  deve aumentare, mentre nel contempo, lo ricordo per non rinunciare ad una visione generale delle cose,  $T_2$  risulta interdetto ed è come se non esistesse. Ragionando in tal modo ci possiamo rendere conto che l'andamento delle tensioni e delle correnti è quello rappresentato nella figura 2). Dal momento che tra i due finali ciò che cambia è solamente il senso delle tensioni e delle correnti, per capire quanto ci interessa è sufficiente esaminare il comportamento di uno solo dei due ad esempio, come stiamo facendo, quello di sopra.

Cosa da notare è che nel transistor esiste uno sfasamento esatto di  $180^\circ$  tra tensione e corrente, ma questo sfasamento non va confuso con quello dovuto alla reattività del carico. Infatti se si considerano solo i valori assoluti, la corrente scorre in perfetto sincronismo con la tensione cioè quando questa è  $V_a/2$  la corrente è zero e comincia subito ad aumentare non appena la tensione si sposta dal suo valore di riposo.

In altre parole potremmo dire che questo sfasamento non deve trarre in inganno in quanto è relativo al transistor, non al carico. Infatti sul carico quando aumenta la corrente aumenta anche la tensione o viceversa. Se vogliamo quindi renderci conto dell'esatto sfasamento, quando esiste, dobbiamo guardare al carico.

Come è noto dalle matematiche elementari la rappresentazione su un piano di due grandezze legate da una relazione lineare è una retta. Andiamo alla figura 3) e stabiliamo il sistema di assi coordinati ortogonali  $V_c - I_c$  ( $V_c$  = tensione di collettore,  $I_c$  = corrente di collettore). Segnato sull'asse delle tensioni il punto  $V_a/2$  e sull'asse delle correnti il punto  $I_{cc} = V_a/2/R_c$  la retta cercata è quella che congiunge i due punti. Una semplice verifica ci fa vedere come effettivamente quando la tensione è uguale a  $V_a/2$  la corrente di collettore è zero, mentre quando la tensione è zero (transistore chiuso cioè completamente saturato) la corrente assume il massimo valore possibile nel circuito che è uguale alla tensione di alimentazione disponibile  $V_a/2$  diviso la resistenza di carico. Tutte le possibili coppie di valori che possiamo misurare ai capi del transistor finale durante il suo ciclo di funzionamento, giacciono su questa retta.



mo invece  
orrente, tra-  
a resisten-  
da trovarsi  
da esami-  
lice.  
sinusoide  
ore emetti-  
in condi-  
risulta la

itiva della  
ritrovarsi  
o C deve  
tensione  
C si sposti  
deve di-  
erché sul  
so positi-  
e, mentre  
rinunciare  
T<sub>2</sub> risulta  
e. Ragio-  
ere conto  
le corren-  
a 2). Dal  
cambia è  
delle cor-  
a è suffi-  
li uno so-  
facendo,

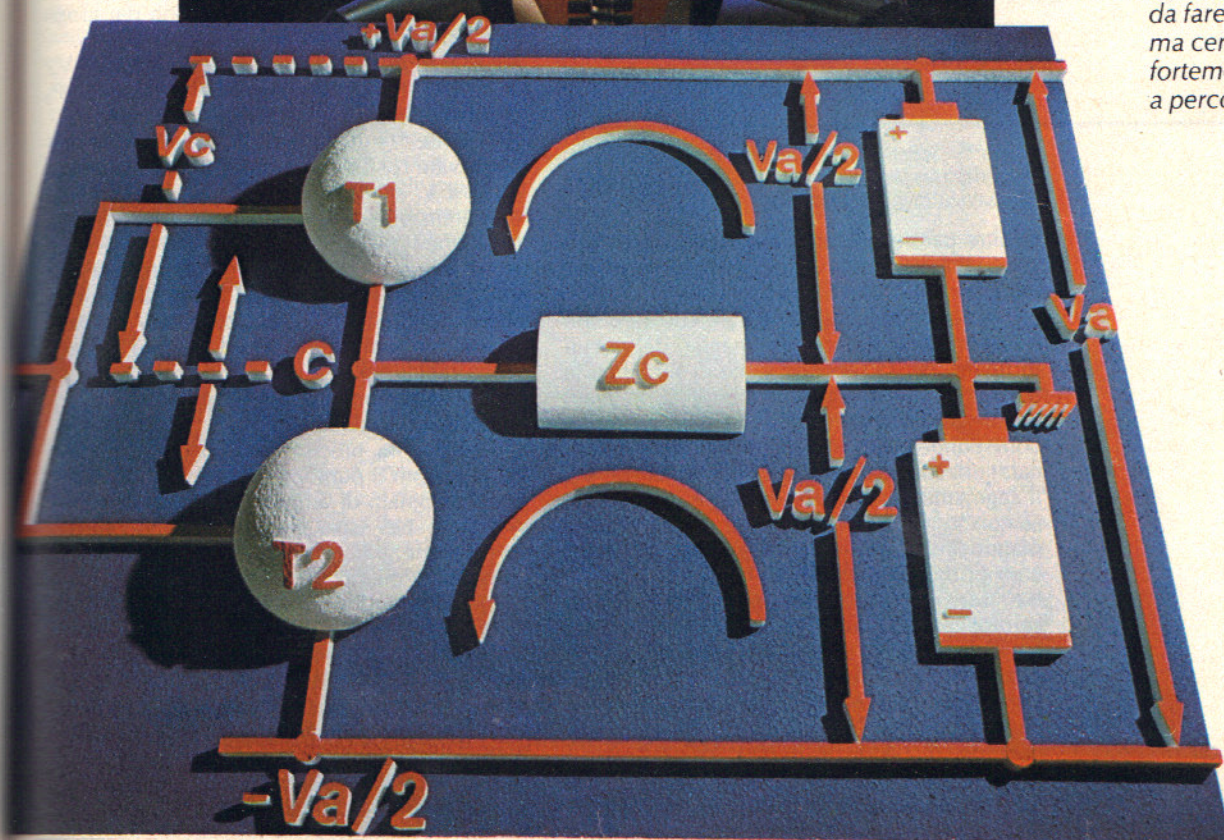
esiste uno  
ne e cor-  
confuso  
carico.  
assoluti,  
ismo con  
2 la com-  
mentare  
suo valo-

esto sfa-  
n quanto  
o. Infatti  
ente au-  
i. Se vo-  
tto sfa-  
ardare al

entari la  
grandez-  
na retta.  
sistema  
(V<sub>c</sub> =  
di collet-  
il punto  
punto  
ella che  
verifica  
ando la  
li collet-  
e è zero  
te satu-  
o valore  
a tensio-  
diviso la  
coppie  
capi del  
funzio-

gio 1980

Ideazione Gaetano Giaquinto



*Prosegue la serie di articoli che Bartolomeo Aloia dedica al progetto degli amplificatori finali. Dopo essersi occupato nella prima parte dei criteri di scelta della coppia finale, l'Autore affronta ora il progetto dello stadio. La strada da fare non è poca, ma certo molti sono fortemente interessati a percorrerla.*



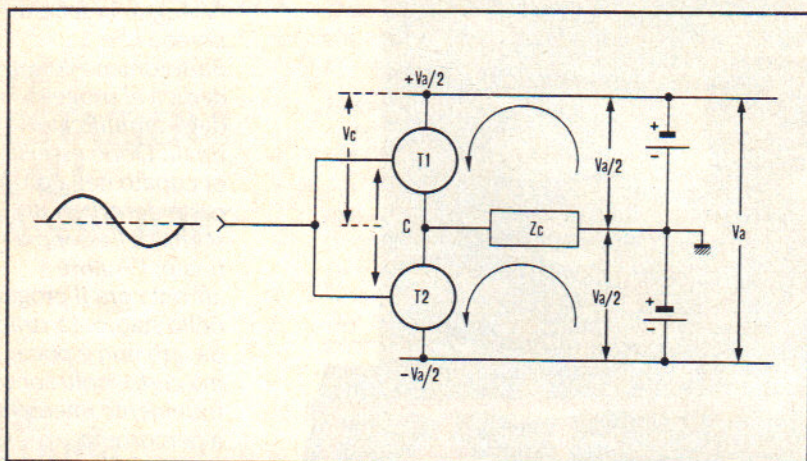


Figura 1 - Schema semplificato di uno stadio finale. Si ipotizza un funzionamento in classe B pura anche in assenza di polarizzazione.

In altre parole la «**retta di carico**», così viene chiamata, esprime in modo grafico il comportamento del circuito semplice che si vede in alto a destra della stessa figura e che altro non è se non la metà, cioè una maglia, del circuito finale. Per la seconda legge di Kirchhoff la somma di  $V_c$  e di  $V_{zc}$  deve dare  $V_a/2$ . In effetti ad un generico punto P sulla retta di carico corrisponde sull'asse delle tensioni il punto  $P_v$  caratterizzato dalla tensione di collettore  $V_c$ . Il segmento  $(P_v - V_a/2)$  altro non rappresenta se non  $V_{zc}$  cioè la tensione sul carico, confermandoci che la somma dei segmenti  $V_c$  e  $V_{zc}$  è proprio uguale a  $V_a/2$ .

Nel corso di una semisinusoide il punto di lavoro, che a riposo è fermo in  $V_a/2$  si sposta lungo la retta nel senso della freccia «1», nel punto di cresta della semisinusoide (tensione al minimo, corrente al massimo) raggiunge il punto  $I_{cc}$  e quindi ritorna alla sua posizione di partenza seguendo la freccia «2». E così sul carico è stata erogata mezza sinusoide, l'altra metà viene erogata in modo analogo a cura

dell'altro transistor. La somma delle due semisinusoidi costituisce in termini di tempo un periodo. A 1.000 Hertz il ciclo di andata e ritorno sulla retta di carico che abbiamo descritto dura mezzo millisecondo.

Per facilitare la costruzione della retta di carico a chi ha poca dimestichezza con le pur semplici nozioni richiamate ho preparato una costruzione grafica che consente di tracciare facilmente la retta di carico e che, cosa del massimo interesse, potrà essere usata anche in seguito quando tratteremo il caso dei carichi reattivi. Nella figura 4) troviamo riunite tre rappresentazioni già note. Il diagramma tempo-ampiezza della tensione, il diagramma tempo-ampiezza della corrente ed il diagramma  $I_c-V_c$  delle caratteristiche di collettore del transistor. Il diagramma tempo-ampiezza della tensione è stato disegnato in modo da far coincidere l'asse delle tensioni con l'asse delle tensioni di collettore del quadrante IV che è quello delle caratteristiche di collettore. Il diagramma tempo-ampiezza della corrente è stato disegnato in modo che l'asse dell'ampiezza della corrente  $I_c$  possa essere portato a coincidere con l'asse  $I_c$  delle caratteristiche di collettore mediante una semplice rotazione di  $90^\circ$  in senso orario. Le semisinusoidi della tensione e della corrente possono essere disegnate sull'asse dei tempi traslate come si vuole ma, non essendovi sfasamento alcuno per la ipotizzata natura puramente resistiva del carico, i punti di inizio e di fine (ed ovviamente tutti gli altri) devono essere perfettamente coincidenti nel tempo.

La costruzione grafica si usa così. Per ogni istante noi dobbiamo individuare due punti, un valore di tensione  $V_c$  ed un valore di corrente  $I_c$ . Ad ogni coppia di valori si deve far corrispondere un punto nel grafico  $V_c, I_c$ . Tutti questi punti uniti tra loro devono dar luogo alla retta di carico.

All'istante iniziale  $t = t_0$  la tensione vale  $V_a/2$  e la corrente vale zero. Si ha il punto  $P_0 (V_a/2, 0)$ .

All'istante  $t = t_1$  la tensione vale  $V_1$  e la corrente vale  $I_1$ . Riportando questi due valori sugli assi  $V_c$  ed  $I_c$ , nel modo che è facilmente comprensibile dalla osservazione della figura, si ottiene il punto  $P_1$ .

All'istante  $t = t_2$  si ottiene il punto  $P_2$  e così via. Quando è trascorso un quarto di periodo siamo in cresta alla sinusoide (più propriamente alla semisinusoide) ed il punto di lavoro ha raggiunto una posizione molto vicina a  $I_{cc}$  poi torna indietro per compire il ciclo come già è stato detto.

Qualche altra precisazione. Il punto  $P_2$  non ha raggiunto il punto  $I_{cc}$  perché la sinusoide è stata disegnata di ampiezza minore di quella massima. Nel caso generale, quando questa costruzione grafica viene usata per studiare il dimensionamento di uno stadio finale, conviene disegnare la sinusoide alla sua massima ampiezza teorica, cioè con il punto  $V_2$  che va a sfiorare l'asse dei tempi della corrente. Questo fatto in pratica non si verifica per i motivi che vedremo fra poco, a causa della tensione di saturazione. Tuttavia nel lavoro con questo grafico ritengo opportuno considerare influente la tensione di saturazione e fare tutto come se non esistesse. Il calcolo della in-



fluenza di questo parametro si può facilmente fare a parte, come presto vedremo.

E' invece conveniente nel calcolarsi il valore di  $I_{cc}$  tenere presente che al posto di  $R_c$  occorre mettere la somma di tutte le resistenze che sono in serie al transistor quindi non solo la vera e propria resistenza di carico che sostituisce l'altoparlante ma anche le resistenze di emettitore ed altre se ve ne fossero.

E' ovvio, ma preferisco ricordarlo, che gli assi dei tempi della tensione e della corrente devono avere la stessa scala; gli assi delle ampiezze della tensione e della corrente possono invece avere due scale diverse.

La costruzione per punti delle sinusoidi è facilitata dall'uso delle moderne calcolatrici che forniscono direttamente i valori delle funzioni trigonometriche. Basta costruire la scala dell'asse dei tempi suddivisa in  $180^\circ$ . Nel mio disegno ho posto un quadretto grande uguale a  $10^\circ$ . La funzione utilizzata è la  $y = \sin x$ ; impostati i  $10^\circ$  sulla calcolatrice si preme il tasto **sen x** e si ottiene 0,173; moltiplicando questo numero per l'indice prescelto per la scala si ottiene il valore grafico della funzione. Si noterà subito sul mio disegno che essendo  $t_1$  un tempo corrispondente a  $30^\circ$  (cioè  $\omega t = 0,523 \text{ rad}$ ) il corrispondente valore di  $V_1$  è di cinque quadretti grandi cioè la metà di  $V_2$ . Il seno di  $30^\circ$  è infatti come sappiamo di 0,5.

Qualche considerazione conclusiva di questa prima parte.

Sono sicuro che molti avranno trovato tediosa, opprimente ed eccessiva l'insistenza con cui ho voluto trattare della retta di carico di collettore di un finale. A mia discolpa voglio dire che il sapersi destreggiare con le rette di carico è di importanza determinante quando si voglia dimensionare autonomamente uno stadio finale, cioè scegliere con la propria testa una coppia di finali ed usarla nel modo giusto senza copiare bovinamente dalla solita rivistina da quattro soldi. Dovete pensare che con lo stesso procedimento che così pesantemente vi ho propinato, se ben compreso, saremo in grado di tracciare le curve di carico di collettore con qualunque tipo di carico ed in particolare con il carico che avremo prescelto di usare. Tracciate le curve di carico e confrontate con le curve di SOAR il gioco è fatto! Quindi, all'erta! Prima di iniziare il prossimo articolo cercate di capire bene questo!

#### Elementi che influiscono sull'ottenimento di una certa potenza

Dovrebbe ora apparire chiaro che la tensione teoricamente disponibile ai capi del carico, è uguale in valore assoluto a quella che si ha ai capi del transistor finale e che chiamiamo  $V_c$ . Se  $V_a/2$  fosse l'effettivo valore raggiungibile dalla tensione di collettore essa dovrebbe anche essere la tensione di picco ottenibile sul carico. In pratica non è così e la tensione effettivamente in pratica disponibile sul carico è sensibilmente inferiore. Il primo motivo è che la tensione di alimentazione non rimane identica a se stessa ma scende all'aumentare della corrente erogata dall'alimentatore. Purtroppo per il momento ci disinteresseremo di

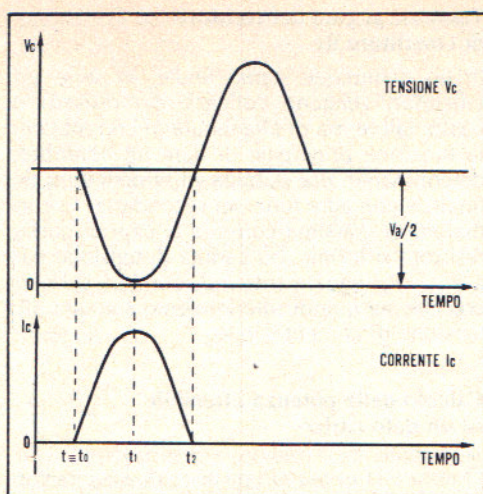


Figura 2 - Tensione e corrente sul collettore del transistor T1. I massimi della corrente di collettore corrispondono ai minimi della tensione collettore-emettitore.

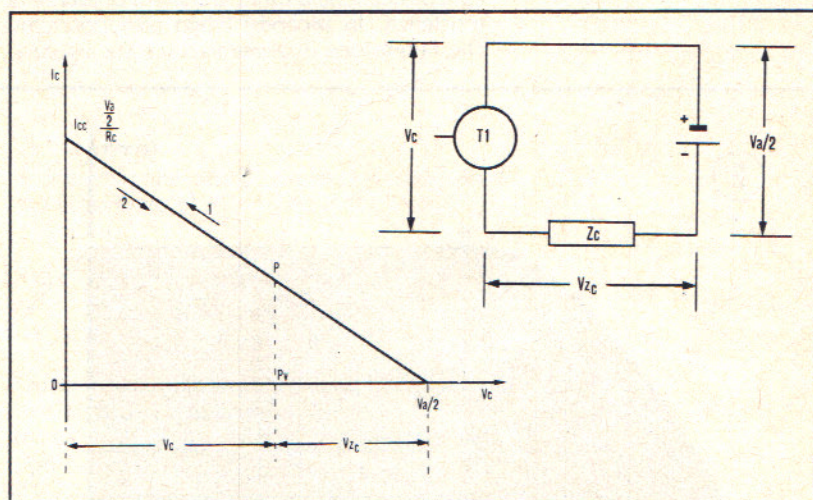


Figura 3 - Costruzione della retta di carico del transistor T1.

questo comportamento della tensione di alimentazione e la supporremo perfettamente stabilizzata. Esamineremo però gli altri due elementi limitativi della tensione.

#### La tensione di saturazione

Quando abbiamo tracciato la retta di carico abbiamo fatto l'ipotesi che quando la corrente è massima la tensione fosse zero (punto di lavoro che si trova sulla intersezione tra la retta di carico e l'asse delle ordinate). Ciò in pratica non è vero, per motivi derivanti dalla Fisica dei semiconduttori. Un transistor, pilotato in base in modo da fargli erogare la massima corrente possibile, da farlo cioè «chiudere» non riesce ad assumere tra collettore ed emettitore una tensione pari a zero. Resta invece una tensione residua, la tensione di saturazione, che qui chiamiamo  $V_s$  e che sui manuali forniti dai costruttori viene chiamata  $V_{CEsat}$ . Essa non può essere riportata sul carico e deve quindi essere sottratta alla tensione di alimentazione disponibile.



### Tensione ai capi del resistore di emettitore $R_e$

In un qualunque stadio finale, in serie agli emettitori vengono collegati dei resistori di basso valore ma di alta tenuta in corrente con la funzione principale di dare un contributo determinante alla stabilità in temperatura dei finali, e con altre funzioni secondarie. In condizioni di massima corrente ai capi di questo resistore si forma una caduta di tensione pari a  $(I_{max} \cdot R_e)$  egualmente indisponibile sul carico, che va quindi ulteriormente sottratta alla tensione di alimentazione.

### Calcolo della potenza ottenibile su un dato carico

Questa è la prima di una serie di esercitazioni pratiche di calcolo che hanno lo scopo di farci prendere dimestichezza con la determinazione degli elementi costruttivi dei finali di potenza. Essendo la prima è anche molto semplice e per essa metteremo in atto qualche ipotesi semplificatrice. Per quanto riguarda il carico, neanche a dirlo, si tratterà di una pura resistenza. In secondo luogo presupporremo che la tensione di alimentazione sia assoluta-

mente stabile, ci venga cioè fornita da un generatore di tensione continua ideale. Si disponga di una tensione di alimentazione totale di 60 Volt, distribuita simmetricamente rispetto alla massa in 30 Volt positivi e 30 Volt negativi;  $V_a/2 = 30$  Volt. Dato un carico resistivo di 8 Ohm, vogliamo sapere quale potenza è possibile sviluppare su di esso, utilizzando in circuito una coppia di transistori finali BDW 51C e BDW 52C, con resistenze di emettitore di 0,33 Ohm. Qualora il transistor fosse un componente ideale e non esistessero resistenze sul percorso delle correnti che attraversano anche il carico, si avrebbe:

$$V_{zp} = V_a/2 = 30 \text{ Volt}$$

dove:

$V_{zp}$  = tensione di picco sul carico.  
 $V_a$  = tensione di alimentazione.

Calcoliamo la tensione efficace sul carico ( $V_{z,eff}$ )

$$V_{z,eff} = V_{zp} \cdot 0,707 = 30 \cdot 0,707 = 21,21 \text{ Volt}$$

Calcoliamo ora la potenza efficace:

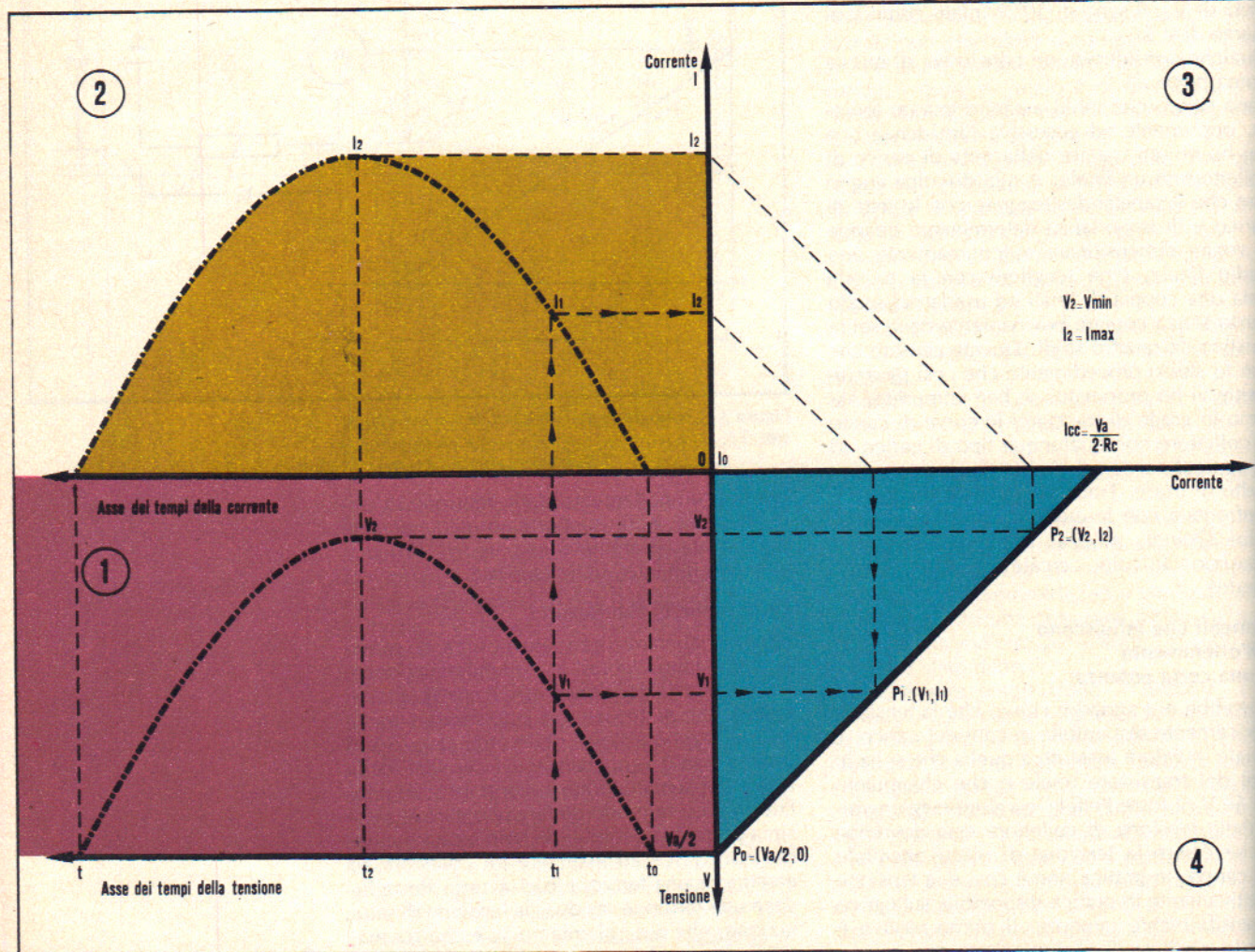


Figura 4 - Costruzione grafica delle relazioni tra corrente e tensione valida nel caso di carico puramente resistivo. Il punto P2 sulla retta di carico non

raggiunge il punto  $I_{cc}$  perché la tensione di uscita è inferiore alla massima.



$$P = \frac{V_{z,eff}^2}{R} = \frac{21,21^2}{8}$$

= 56,23 Watt che senza complimenti arrotondiamo a 56 Watt.

Per un calcolo utilizzabile in pratica occorre però tenere conto che esistono degli elementi limitativi della potenza ottenibile. Questi sono principalmente la tensione di saturazione del dispositivo finale e la caduta di tensione sulla resistenza di emettitore  $R_e$ .

Per la tensione di picco sul carico si ha quindi la formula pratica:

$$V_{zp} = V_a/2 - V_s - V_{Re}$$

**Stima della  $V_s$ .** I costruttori dei transistor forniscono sui loro Databook dati sulla tensione di saturazione sia in tabella che in curve caratteristiche.

Precisiamo intanto che, dato il collegamento circuitale usato, ad emettitore comune o a collettore comune, si parla di tensione di saturazione tra collettore ed emettitore, indicata comunemente con il simbolo  $V_{CEsat}$ . Le tabelle riportano normalmente due dati, cioè il valore di  $V_{CEsat}$  per due diversi valori di corrente di collettore. Un valore, approssimativamente vicino ad una corrente pari ad un terzo di quella massima di collettore ed un altro per un valore di corrente compreso tra due terzi del massimo ed il massimo. Per un dispositivo per il quale sia indicata una corrente max di collettore di 15 Ampères, la  $V_{CEsat}$  viene fornita per 5 A di corrente di collettore come primo dato, e come secondo dato per una corrente di collettore compresa tra i 10 ed i 15 Ampères. Nel caso specifico dei transistori da noi prescelti in questo caso, il costruttore dichiara:

$V_{CEsat}$  per  $I_c = 5A$ : 1 Volt

$V_{CEsat}$  per  $I_c = 10A$ : 3 Volt

Vengono fornite come dicevo anche curve caratteristiche. Purtroppo io non ritengo opportuno spingersi ad analisi più accurate di questo parametro in quanto la sua influenza sui risultati finali che a noi interessano, non è sensibile al punto da poter creare dei problemi. Giustifico questa affermazione con due considerazioni.

a) I valori normalmente assunti dal parametro  $V_{CEsat}$  variano da un minimo di 0,5 Volt per carichi alti (16 Ohm) ad un massimo di 3 Volt per carichi bassi (4 Ohm). Se si assume come valida per qualunque tipo di dispositivo la tabella seguente, l'errore che si commette sui calcoli della potenza in un amplificatore per uso musicale, è decisamente trascurabile.

$V_{CEsat}$  per carichi di 16 Ohm 0,5 Volt

$V_{CEsat}$  per carichi di 8 Ohm 1 Volt

$V_{CEsat}$  per carichi di 4 Ohm 3 Volt

b) Le riduzioni di potenza dovute alla tensione di saturazione possono creare qualche problema quando si studiano produzioni industriali di grande serie, dove occorre stare attenti anche alle 10 lire. Dal momento che queste note sono dedicate ad autocostruttori o comunque più in generale a tecnofili (è forse un neologismo?) non mi sento di peccare di

pressappochismo se dico che l'autocostruttore ultrapignolo può sempre riconquistare con qualche spira in più del proprio trasformatore di alimentazione quei due, tre o quattro Watt che gli sono stati «mangiati» dalla tensione di saturazione.

Torniamo ora ai nostri conti.

Per la  $V_{Re}$  vale la relazione di Ohm  $V_{Re} = R_e \cdot I_{zp}$  dove  $I_{zp}$  è la corrente di picco sul carico, uguale a  $V_{zp}/8$ .

Possiamo quindi impostare il semplicissimo sistema:

$$\begin{cases} V_{zp} = V_a/2 - V_s - I_{zp} R_e \\ I_{zp} = V_{zp}/8 \end{cases}$$

e successivamente risolverlo sostituendo la seconda equazione nella prima:

$$V_{zp} = V_a/2 - V_s - V_{zp}/8 \cdot R_e;$$

$$V_{zp} + V_{zp}/8 \cdot R_e = V_a/2 - V_s;$$

$$V_{zp} \left( 1 + \frac{R_e}{8} \right) = V_a/2 - V_s$$

$$V_{zp} = \frac{V_a/2 - V_s}{\frac{8 + R_e}{8}}$$

Sostituendo alle lettere i numeri che conosciamo scegliendo per  $V_s$  il valore di 1 Volt,

$$V_{zp} = \frac{30 - 1}{\frac{8 + 0,33}{8}} = \frac{29}{1,04} = 27,88 \text{ Volt}$$

Occorre ora passare al valore efficace della tensione dividendo il valore ottenuto per 1,41 o, ciò che è lo stesso, moltiplicando per 0,707.

$$V_{z,eff} = 27,88 \cdot 0,707 = 19,7 \text{ Volt.}$$

$$P = \frac{V_{z,eff}^2}{8} = \frac{19,7^2}{8} = 48,5 \text{ Watt.}$$

Invece dei 56 Watt teorici abbiamo trovato 48 Watt reali, cioè un buon quattordici per cento in meno. Abbiamo quindi imparato in maniera operativa che vi sono due elementi che limitano la potenza ottenibile con una determinata tensione di alimentazione. L'uno,  $V_s$ , è tipico del transistor finale impiegato, l'altro,  $V_{Re}$ , dipende invece dal circuito usato. Per esercizio, in attesa della prossima puntata, potete rifare i calcoli per carichi di 16 e 4 Ohm, sempre nella ipotesi di tensione di alimentazione invariabile. Dovrete mantenere questa ipotesi fino ad una delle prossime puntate, che sarà interamente dedicata al dimensionamento dello stadio di alimentazione. Vi preannuncio intanto che le prossime puntate tratteranno, oltre a quello sopradetto, dei seguenti argomenti: curve di funzionamento del finale con carico reattivo, curva di SOAR, dimensionamento dello stadio finale.

Bartolomeo Aloia

Corrente

di uscita è