

I dati caratteristici dei vari tubi elettronici sono resi disponibili anche dai fabbricanti, sotto forma di manuali o di fogli delle caratteristiche. Dato che i valori caratteristici nei vari punti di lavoro differiscono sensibilmente, i fabbricanti riportano in genere i dati caratteristici solo per un dato punto di lavoro, e precisamente quello giudicato ottimale per l'applicazione prevista del tubo.

Tra i diversi dati caratteristici s , r_i , D e μ di un tubo elettronico sussiste una relazione, chiamata "equazione di Barkhausen" spesso anche "equazione implicita" d'un tubo. L'equazione di Barkhausen generalmente si scrive nella forma:

$$s \cdot r_i \cdot D = 1$$

Se proviamo a sostituire nell'equazione suddetta le espressioni che definiscono s , r_i e D indicate nelle varie lezioni precedenti (trascurando il segno — davanti a D), è facile verificare l'esattezza dell'equazione:

$$\frac{\Delta I_A}{\Delta U_G} \cdot \frac{\Delta U_N}{\Delta I_\Delta} \cdot \frac{\Delta U_G}{\Delta U_A} = 1$$

Mediante l'equazione di Barkhausen è facile, conoscendo i valori di due fra i dati caratteristici d'un tubo, calcolarne il terzo, sempre riferiti allo stesso punto di lavoro. Se per es. per un triodo si ha $r_i = 11 \text{ k}\Omega$, $\mu = 60$, se ne può calcolare la pendenza s dall'equazione di Barkhausen:

$$\begin{aligned} s &= \frac{1}{r_i} \cdot \frac{1}{D} = \frac{1}{r_i} \cdot \mu = \\ &= \frac{1}{11 \text{ k}\Omega} \cdot 60 = 5,45 \text{ mA/V} \end{aligned}$$

Domanda 18

Il fornitore d'un tubo indica per esso i seguenti valori caratteristici: $s = 1,4 \text{ mA/V}$, $r_i = 50 \text{ k}\Omega$. Quale dei seguenti valori è corretto:

- a) $\mu = 70$,
- b) $\mu = 3$,
- c) $\mu = 50$.

Risposta 17

$$\text{d) } r_i = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A} = \frac{60 \text{ V}}{3 \text{ mA}} = 20 \text{ k}\Omega$$

Risposta 18

a) $\mu = 70$

2^a Prova Intermedia

1 Scegliete la risposta corretta:

- I dati caratteristici s , r_i , D e μ forniti dal costruttore di un tubo elettronico valgono per l'intero campo di lavoro ammissibile nelle applicazioni del tubo.
- I dati caratteristici s , r_i , D e μ forniti dal costruttore di un tubo elettronico valgono solo per un dato punto di lavoro o al massimo per uno stretto intervallo attorno a questo punto.

2 Un triodo venga fatto lavorare con segnali a tensione alternata di ampiezza relativamente grande, quindi con variazioni relativamente forti delle tensioni. Nei calcoli di progetti relativi a tale triodo è più giusto:

- basarsi sui dati caratteristici del triodo, e trascurare le curve caratteristiche dello stesso,
- basarsi sulle curve caratteristiche del tubo e non impiegare direttamente i dati caratteristici dello stesso.

3 Scegliere la formula corretta che definisce la pendenza s :

a) $s = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_G}$ per U_A costante

b) $s = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_G}$ per U_G costante

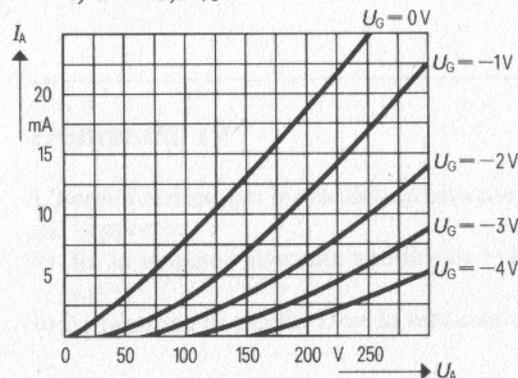
c) $s = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_G}$ per I_A costante

4 Provate a determinare in base alle curve caratteristiche del diagramma $I_A - U_A$ (riferendosi alla figura del successivo quesito n° 5), per il punto di lavoro definito da $U_A = 250V$, $I_A = 10 \text{ mA}$, il valore della resistenza interna del triodo. Qual'è il valore corretto:

- $r_i = 12 \text{ k}\Omega$
- $r_i = 1,2 \text{ k}\Omega$
- $r_i = 8,3 \text{ k}\Omega$

5 Provate a determinare, in base alle curve caratteristiche $I_A - U_A$ (vedi figura), per il punto di lavoro definito da: $U_A = 200V$, $I_A = 5 \text{ mA}$, il valore dell'intraeffetto D del triodo. Qual'è il valore corretto:

- $D = 2 \%$
- $D = 5 \%$
- $D = 0,5 \%$



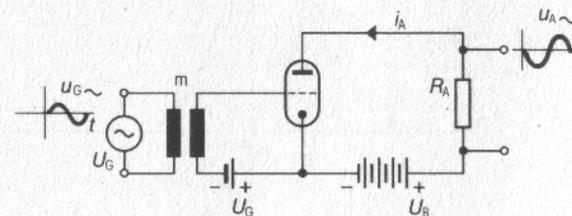
- 1 b) I dati caratteristici s , r_i e D , forniti dal costruttore di un tubo elettronico valgono solo per un dato punto di lavoro ed al massimo per un piccolo intorno di questo. (Lezione 14, 18)
- 2 b) È corretto basarsi sulla famiglia di curve caratteristiche e non impiegare direttamente i dati caratteristici del tubo. (Lezione 13)
- 3 a) $s = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_G}$ per U_A costante (Lezione 14)
- 4 c) $r_i = 8,3 \text{ k}\Omega$ (Lezione 17)
- 5 a) $D = 2 \%$ (Lezione 15)

Le possibili applicazioni cui può essere destinato un triodo sono molteplici, tuttavia la sua utilizzazione più importante è nel campo dell'amplificazione di segnali. Senza entrare in dettagli sui vari tipi di circuiti impiegabili, vogliamo tentare, in questa parte conclusiva, di spiegare i concetti base dell'amplificazione.

Per “amplificazione”, in termini semplificati, intendiamo il rapporto fra le ampiezze del segnale in uscita con quello in entrata dell'amplificatore. Chiamando U_2 la tensione di uscita e U_1 la tensione di ingresso, l'amplificazione è definita da:

$$\frac{U_2}{U_1}$$

In figura è illustrato lo schema base d'un circuito amplificatore che impiega un triodo. Oltre alla tensione di polarizzazione di griglia U_G , alla griglia del triodo viene applicata pure la tensione alternata $u_G \sim$, che si vuole amplificare. Tale tensione può venire applicata in diversi modi: nel nostro esempio viene utilizzato un trasformatore (m), con rapporto di trasformazione $\dot{u} = 1$. Nel circuito anodico del triodo, generalmente, viene posta una resistenza di carico R_A . La tensione alternata amplificata di uscita $u_A \sim$ viene prelevata ai capi di tale resistenza.



Domanda 19

L'amplificazione per il caso del circuito con triodo mostrato in figura è data dal rapporto:

- a) fra la tensione alternata anodica $u_A \sim$ e la tensione alternata in griglia $u_G \sim$,
- b) la tensione di griglia U_G e la tensione anodica U_A .

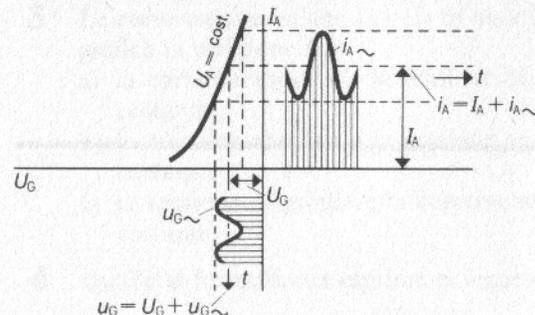
Risposta 19

- a) Dal rapporto fra la tensione alternata anodica $u_A \sim$ e la tensione alternata di griglia $u_G \sim$.

La tensione risultante applicata alla griglia, u_G , è la somma di U_G (tensione di polarizzazione di griglia) e di $u_G \sim$ (tensione alternata da amplificare: essa varia cioè periodicamente attorno a U_G in sincronismo con la tensione alternata $u_G \sim$). Gli elettroni che fluiscono nel tubo seguono le variazioni di tensione della griglia e formano una corrente anodica i_A , la quale è composta da una corrente alternata $i_A \sim$ che oscilla, alla medesima frequenza della tensione alternata di griglia, attorno al valore I_A . L'andamento della corrente anodica i_A può essere ricavato, come mostrato nella figura, per "riflessione" sulla curva caratteristica della tensione applicata alla griglia.

Un circuito di amplificazione non deve tuttavia produrre solo una corrente alternata, bensì una tensione alternata. Le tensioni alternate si producono al passaggio di una corrente alternata in una resistenza, ai capi di questa. Questo è il motivo per cui, nella maggior parte dei circuiti di amplificatori, nel circuito anodico è posta una resistenza R_A , pressapoco come mostrato nella figura della Lezione 19.

Con una scelta opportuna del valore della resistenza sull'anodo ("resistenza di carico") si può facilmente ottenere che la tensione alternata presente sull'anodo, $u_A \sim$, cioè la tensione di uscita del circuito, risulti notevolmente maggiore della tensione alternata applicata sulla griglia, $u_G \sim$. La tensione alternata introdotta in griglia risulta così amplificata.



Curva di amplificazione e grafico

Lezione 20

Consideriamo dapprima il funzionamento fondamentale del circuito amplificatore mostrato nella Lezione 19 senza la presenza della resistenza R_A . Ci baseremo nella spiegazione sulla famiglia di curve caratteristiche $I_A - U_G$ del triodo impiegato (vedi figura). Al di sotto dell'asse U_G sono indicate sia le tensioni continue di griglia U_G che la tensione alternata da amplificare $u_G \sim$.

Domanda 20

Aggiungete nel testo seguente la parola mancante:

Una piccola tensione alternata $u_G \sim$ produce una corrente alternata $i_A \sim$ relativamente elevata. Questa corrente alternata scorre nella resistenza R_A posta sull'anodo; ai capi di questa si produce quindi una tensione alternata anodica $u_A \sim$ relativamente La piccola tensione d'ingresso $u_G \sim$ risulta dunque amplificata.

Prova Finale

Sforzatevi di rispondere esattamente anche alle domande di questa prova finale. Se avete studiato sinora con profitto, dovrebbe esservi facile fornire risposte corrette ai quesiti finali sottoposti. Confrontate poi le vostre risposte con quelle fornite nella pagina seguente.

- 1 Alla griglia di controllo di un triodo normalmente viene applicata una tensione continua negativa rispetto al catodo, la cosiddetta tensione di polarizzazione di griglia. Lo scopo è di:
 - a) produrre una corrente di griglia relativamente forte,
 - b) produrre una piccola corrente di griglia,
 - c) evitare la formazione d'una corrente di griglia.
- 2 Sotto l'effetto di determinati fattori esterni avviene che la corrente anodica d'un triodo aumenti. Vogliamo contrastare questo aumento della corrente anodica. Quale delle seguenti misure può venire impiegata con successo:
 - a) aumentare la tensione negativa di griglia,
 - b) aumentare la tensione positiva di griglia,
 - c) aumentare la tensione positiva dell'anodo.
- 3 Le curve caratteristiche $I_A - U_A$ di un triodo rappresentano in forma grafica la relazione fra:
 - a) la corrente anodica e la tensione di griglia, per tensione anodica costante,
 - b) la corrente anodica e la tensione anodica, per tensione di griglia costante,
 - c) la tensione di griglia e la corrente anodica, per tensione anodica costante.
- 4 Qual'è la formula che esprime la legge di Barkhausen?
 - a) $s \cdot r_i \cdot \mu = 1$,
 - b) $s \cdot r_i = D$,
 - c) $s \cdot r_i \cdot D = 1$?

Risposta 20

Grande.

- 1 c) Si vuole evitare la formazione d'una corrente di griglia.
- 2 a) Aumentando la tensione negativa di griglia.
- 3 b) La relazione fra corrente anodica e tensione anodica, per tensione di griglia costante.
- 4 c) $s \cdot r_i \cdot D = 1$.

Espressioni tecniche usate nel corso della trattazione

Anodo	In un triodo, l'elettrodo metallico normalmente collegato alla tensione positiva di alimentazione, e che raccoglie la corrente di elettroni che scorre nel tubo. (Lezione 2)
Diagramma caratteristico $I_A - U_A$	Famiglia di curve caratteristiche della corrente anodica I_A e della tensione anodica U_A , riportate in un diagramma ad assi cartesiani, e che danno la relazione fra I_A e U_A per diversi valori della tensione di griglia. (Lezione 6, 7)
Diagramma caratteristico $I_A - U_G$	Famiglia di curve caratteristiche della corrente anodica I_A e della tensione di griglia U_G , che danno la relazione fra I_A e U_G per diversi valori della tensione anodica. (Lezione 6, 8)
Caratteristica di un tubo elettronico	Valore tipico espresso come rapporto di differenze (più esattamente come quoziente differenziale), che fornisce una misura della variazione subita da una delle tre grandezze: corrente anodica, tensione anodica, tensione di griglia quando una delle altre due varia di una determinata entità. (Lezione 10)
Catodo	Elettrodo dal quale vengono emessi i portatori di cariche negative (elettroni). (Lezione 1, 2)
Corrente anodica	Corrente elettronica che all'interno d'un tubo giunge all'anodo. (Lezione 2)
Corrente di griglia	Corrente elettronica che all'interno del tubo scorre dal catodo alla griglia controllo. (Lezione 2)

Curva caratteristica	Per i tubi elettronici: rappresentazione grafica della relazione fra corrente continua anodica, tensione continua anodica e tensione di griglia. (Lezione 6)	Pendenza (Conduttanza mutua, transeonduttanza)	Dato caratteristico di un tubo elettronico, definito come il rapporto fra una variazione di corrente anodica e la corrispondente variazione di tensione di griglia che l'ha provocata, mentre si mantiene costante la tensione anodica. (Lezione 14)
Diodo	La più semplice disposizione di un tubo elettronico, consistente di un elettrodo che emette elettroni (catodo) ed uno che li assorbe (anodo). (Lezione 1)	Resistenza interna (Resistenza anodica)	Dato caratteristico di un tubo elettronico, definito come il rapporto fra una variazione di tensione anodica e la corrispondente variazione di corrente anodica, mentre si mantiene costante la tensione di griglia. (Lezione 13, 14)
Elettrodo	È ogni componente metallico attivo presente in un tubo elettronico: anodo, catodo, griglia.	Tensione anodica	La tensione applicata all'anodo di un tubo elettronico, riferita al catodo. (Lezione 2)
Elettrone	Particella elementare carica di elettricità negativa. (Lezione 1)	Tensione di griglia	Tensione continua applicata alla griglia, in particolare alla griglia controllo, e riferita al catodo del tubo elettronico. (Lezione 2, 3)
Emissione	Qui: prevalentemente emissione termica. La fuoriuscita nello spazio libero di elettroni da un elettrodo metallico per effetto del calore, ossia per riscaldamento dell'elettrodo. (Lezione 1, 2)	Tubi elettronici	Contenitore di vetro privo d'aria, che contiene due o più elettrodi metallici, tra i quali scorre una corrente controllata di elettroni.
Fattore di amplificazione	Dato caratteristico di un tubo elettronico, definito come il rapporto fra una variazione di tensione anodica e la corrispondente variazione di tensione alla griglia di controllo, mentre si mantiene costante la corrente anodica. (Lezione 12)	Vuoto	Spazio privo di materia (in particolare, d'aria).
Griglia	Elettrodo normalmente sotto forma di sottile spirale di filo avvolto concretamente attorno al catodo del tubo elettronico. (Lezione 2)		
Griglia di controllo	Griglia che serve a controllare il flusso di corrente di elettroni entro il tubo. (Lezione 2)		
Intraeffetto	Dato caratteristico di un tubo elettronico, definito come il rapporto fra una variazione di tensione di griglia e la corrispondente variazione di tensione anodica, mentre si mantiene costante la corrente anodica. (È l'inverso del fattore di amplificazione). (Lezione 12)		