

Elementi di elettronica-termoionica.

Premessa

Queste pagine non hanno lo scopo di essere divulgative. Si tratta di una serie di appunti personale nati con la traslitterazione dei concetti sul calcolo dei circuiti transistorizzati appresi al politecnico alle Valvole. Si farà spesso riferimento alla legge di Ohm, alla trigonometria e al calcolo differenziale.

Con un po' di lavoro sono tuttavia accessibili a qualunque persona che abbia portato a termine un liceo scientifico o un ITIS. Chiedo scusa per eventuali errori di battitura.

IL TRIODO

Costituzione

Il triodo è essenzialmente un diodo nel quale è inserito tra i due elettrodi un terzo con lo scopo di controllare il flusso elettronico. Per ulteriori informazioni si può visitare il sito "Le radio di Sophie" nella sezione teoria.

Caratteristiche statiche

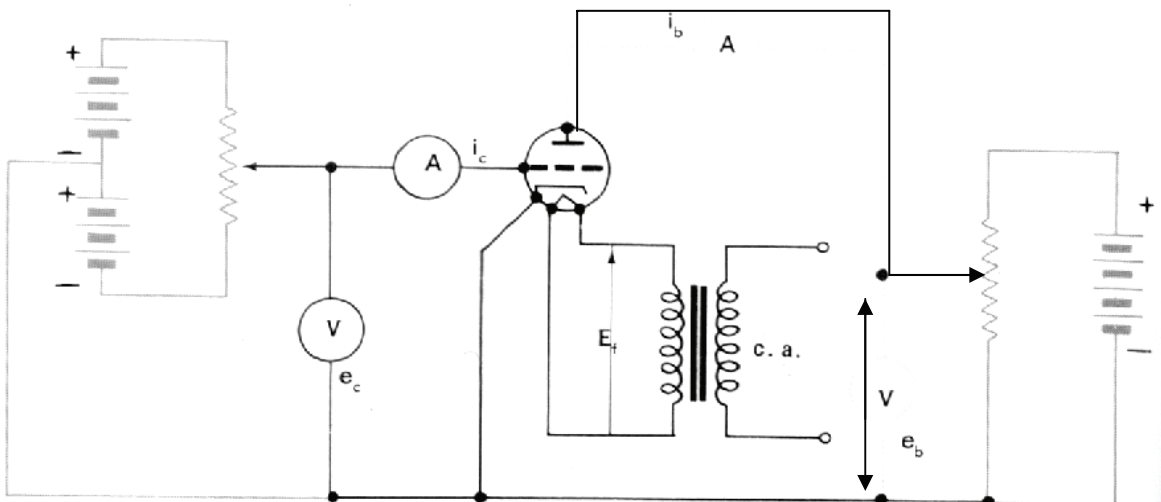


Fig.1

La figura mostra il circuito con il quale è possibile determinare le caratteristiche statiche del Triodo. In questo dispositivo si hanno tre variabili: la *corrente di placca* I_p , la *tensione anodica* E_b e quella di *griglia* E_c . La tensione di filamento E_f è di solito mantenuta costante al valore indicato dal costruttore e pertanto d'ora in poi sarà trascurata

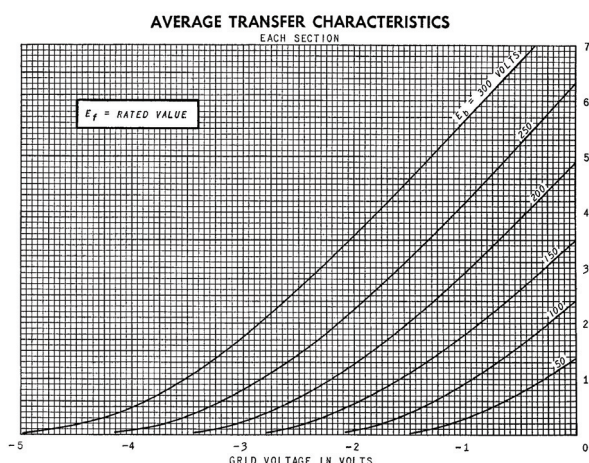


Fig. 2

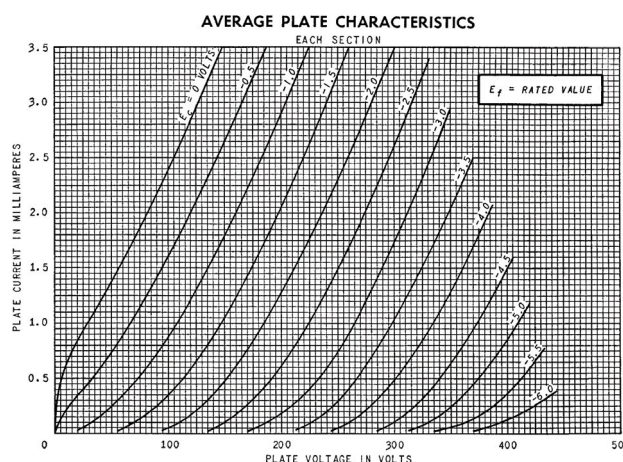


Fig. 3

La seconda figura mostra come varia la corrente I_b in funzione di E_c per determinati valori di E_b nel triodo 6sl7, mentre la terza illustra le variazioni di I_b con E_b , per alcuni valori di E_c . E' importante notare come ad un certo punto la corrente anodica non cresce più pur diventando la griglia sempre più positiva: ciò è dovuto al fatto che la griglia non esercita più la sua azione di controllo.

Funzionamento del triodo.

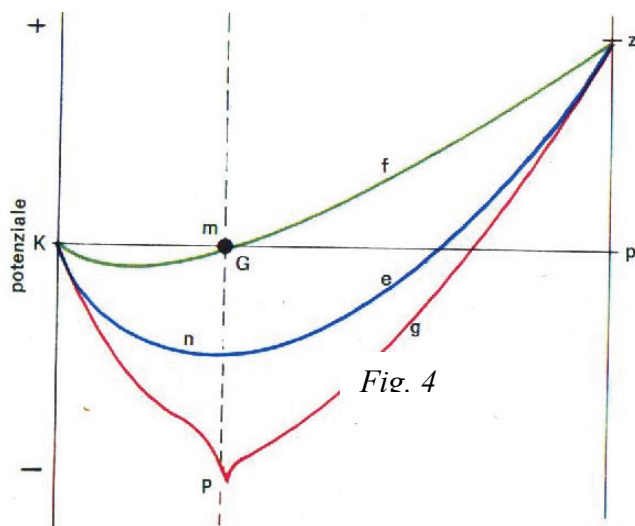


Fig. 4

Il funzionamento del triodo può essere spiegato analizzando la distribuzione di potenziale all'interno del tubo. Nella figura sopra riportata la curva e rappresenta la distribuzione del potenziale in assenza di griglia. Se ora in G viene interposta la griglia, isolata dagli elettrodi, essa deve catturare elettroni fino ad assumere il potenziale $m n$ che si aveva potenziale $m n$ viene detto potenziale di griglia libera.

Esaminiamo ora l'efficacia della griglia nel controllo del flusso elettronico.

Se la griglia è al potenziale del catodo la curva di distribuzione deve passare per m , come la curva f . In tal caso aumenta la corrente di placca in seguito alla riduzione della "gobba" della carica spaziale fra griglia e catodo. Il potenziale $m p$ della curva g corrisponde alla condizione di griglia negativa rispetto al catodo; è ovvio che la corrente I_b diminuisce. Il potenziale di griglia, per cui I_b si annulla, è chiamato *tensione di interdizione*; in fig. 2, ad esempio, detto potenziale vale - 3,5 V per $E_b = 200$ V, Quando la griglia è positiva rispetto al catodo, la carica spaziale si riduce e di conseguenza cresce la corrente di placca.

Abbiamo sin qui trattato della distribuzione di potenziale lungo una linea che incontra un filo della griglia. Fra i fili di questa il potenziale si avvicina necessariamente a quello della griglia libera, per

cui il suo valore medio sulla superficie dell'elettrodo sarà compreso fra quello di griglia libera e quello applicato, e sarà tanto più vicina a questo ultimo quanto più fitte sono le maglie. Sul potenziale medio di griglia influisce inoltre la tensione anodica. Naturalmente non varia il potenziale della griglia, ma quello dei punti compresi fra due fili diventa più positivo se aumenta la tensione di placca, più negativo se questa diminuisce. Nel triodo, perciò, la corrente anodica dipende non solo dalla tensione di griglia ma anche da quella di placca.

Coefficienti del triodo e suo circuito equivalente.

Abbiamo visto come il comportamento del triodo possa essere descritto per mezzo delle caratteristiche statiche delle figg. 2 e 3. Tuttavia, per piccole variazioni intorno ad un dato punto di lavoro (determinato dai valori continui I_b , E_b ed E_c , in assenza di segnale) è conveniente esaminare il funzionamento del tubo mediante il coefficiente di amplificazione μ , la resistenza dinamica di placca R_p e la transconduttanza g .

La corrente di placca di un triodo dipende dalle tensioni di griglia e di placca, cioè:

$$I_b = f(E_c, E_b),$$

essendo questa l'equazione delle caratteristiche statiche delle figg. 2 e 3. Da queste figure si nota che quando la corrente anodica supera alcuni mA le curve diventano rettilinee. In tal caso la corrente I_b si può esprimere come:

$$I_b = aE_c + bE_b + c, \text{ con } a, b, c \text{ appartenenti a } \mathcal{R}^+$$

Naturalmente c rappresenta la corrente di placca per tensioni di griglia e di placca nulle, se le caratteristiche fossero in questo punto ancora rette parallele.

Il significato fisico delle tre costanti può essere ricavato mantenendo costante una delle due tensioni E_b od E_c e determinando la variazione ΔI_b per una certa variazione dell'altra tensione, oppure determinando per $I_b = \text{cost}$ la variazione ΔE_b per un dato incremento ΔE_c .

Perciò, ponendo $E_b = \text{cost}$, si ottiene la transconduttanza g derivando I_b rispetto ad E_c , cioè:

$$g = \Delta I_b / \Delta E_c = a$$

Se è $E_c = \text{cost}$ si ottiene in modo analogo la resistenza dinamica:

$$R_p = \Delta E_b / \Delta I_b = 1/b$$

Infine con $I_b = \text{cost}$ si ha il coefficiente di amplificazione:

$$\mu = a/b = -\Delta E_b / \Delta E_c$$

che è anche eguale a $\mu = g R_p$.

I valori dei tre coefficienti si possono ricavare approssimativamente dalle caratteristiche statiche in base alle loro definizioni.

Così dalla fig. 2, nel punto di lavoro $E_b = 200$ V ed $E_c = -1$, la transconduttanza g è data dalla tangente ($\Delta I_b / \Delta E_c$, con $E_c = \text{grid voltage}$) della curva, cioè circa 2000 microsiemens (oppure $\mu A/V$). La resistenza R_p si ottiene dal reciproco della pendenza della curva della figura 3 ($\Delta E_b / \Delta I_b$) cioè circa 50k. Il coefficiente a è determinato osservando che per una variazione di $E_c = 0.5$ V (cioè

quando E_c passa da -1 V a -0.5 V) si ha una variazione di $I_b = -1\text{mA}$, passando I_b da 3 a 4mA, per cui:

$$\Delta I_b / \Delta E_c = a = 1\text{mA} / 0.5\text{V} = 2\mu\text{A/V}$$

Poiché le curve delle figg. 2 e 3 non sono delle rette parallele, è chiaro che il valore dei tre coefficienti dipenderà dal punto di lavoro intorno al quale avvengono le variazioni. Questi sono dati indicativi da usarsi solo se non se ne può fare a meno. E' preferibile consultare tabelle come Quella presentate nella fig. 5 dove si vede l'andamento di μ , R_p , g in funzione della corrente di placca.

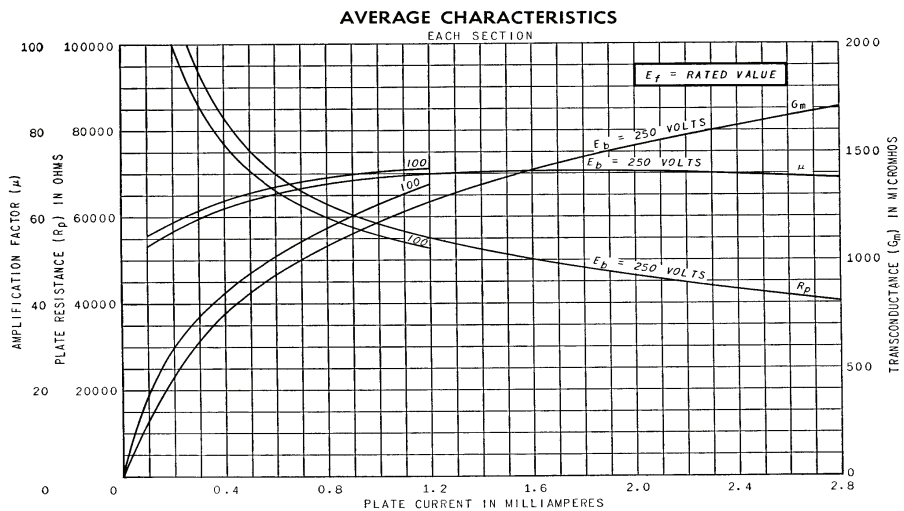


Fig. 5

come Quella presentate nella fig. 5 dove si vede l'andamento di μ , R_p , g in funzione della corrente di placca.

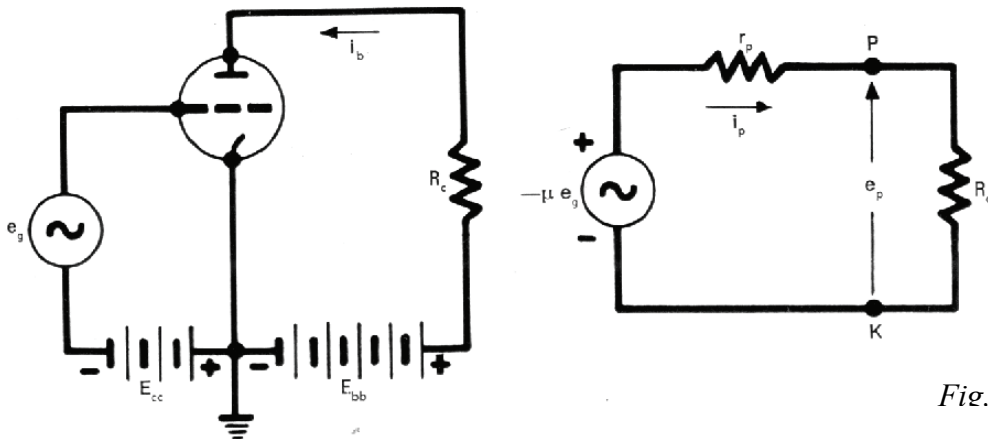


Fig. 7

L'equazione del triodo si può riscrivere come:

$$I_b = g * E_c + (E_b / R_p) + c.$$

Consideriamo il circuito di fig. 5 nel quale R_c , è la resistenza di carico. E' evidente che E_b è eguale alla tensione di batteria di placca E_{bb} diminuita della caduta istantanea sul carico:

$$e_b = E_{bb} - R_c * I_b$$

mentre E_c , è data dalla somma della tensione continua E_{cc} e di quella alternata E_g . Si ha perciò:

$$E_c = E_{cc} + E_g$$

Si ha perciò:

$$R_p * I_p = \mu * E_g + \mu E_{cc} + E_{bb} - C_c I_b + R_b * c$$

Ed essendo $I_b = I'_{b} - I_p$ con I'_{b} rappresentante la corrente di riposo e I_p la variazione della corrente di placca dovuta la segnale si può scrivere:

$$(R_c + R_p) * (I'_{b} - I_p) = \mu * E_g + \mu * E_{cc} + R_p * c$$

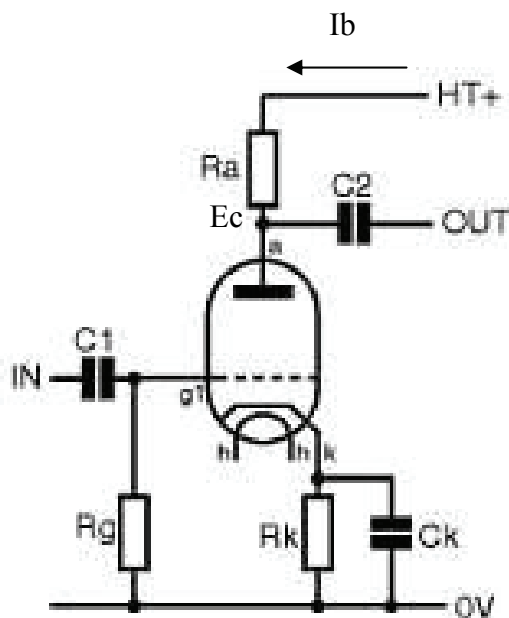
Eguagliando le componenti alternate si può scrivere:

$$\underline{-\mu E_g = (R_c + R_p) * I_p}$$

Che consiste nell'equazione fondamentale dei tubi a vuoto.

Interpretando questa equazione nel suo significato elettrotecnico si ottiene il circuito equivalente del triodo illustrato in fig. 6, mediante il quale è possibile studiare il funzionamento del tubo in caso di segnali di ampiezza limitata, per i quali i tre coefficienti si possono ritenere costanti.

Corrente di griglia



Come si è già visto, la griglia è stata inserita per variare con il suo potenziale l'effetto della carica spaziale. Quando questo potenziale è positivo rispetto a quello di griglia libera, la griglia attirerà una parte degli elettroni emessi dal catodo. La tensione può essere procurata mediante vari metodi (ben descritti nel Radiolibro) tra i quali quello della polarizzazione automatica: si pone una resistenza R_k tra catodo e massa. Essa caricherà la griglia di potenziale negativo pari a $I_b * R_k$. Otteniamo dunque:

$$R_k = E_c / I_b$$