HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	三極管のC級動作における電極電流の基本波値及平均値
Author(s)	黒部, 貞一
Citation	工學部研究報告, 8, 66-76
Issue Date	1953-09-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40417
Type	departmental bulletin paper
File Information	8_66-76.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

三極管のC級動作における電極電流の基本波値及平均値

黒部貞一

(February 25, 1953)

Fundamental Wave Values and Mean Values of Electrodes Currents of Triodes at Class C Operation.

Teiichi KUROBE

Abstract

It is important that one accurately determines the fundamental wave values and the mean values of the plate current and the grid current of the triode when one designs a large power amplifer or oscillator. But hitherto these values have been very approximate and the grid emission has been neglected. So assuming the space current is the 1.5 th power and the γ th power of the resultant voltage, I obtained the formulae of the fundamental values and the mean values of the space current. Secondly assuming the primary current division is $i_p/i_g = \delta(e_p/e_g)^\mu$ and considering the effect of the secondary electron emission from the grid, I obtained the graphical expression of these values of the grid current. And these values of the plate current were obtained from the difference of these values of the space current and these values of the grid current.

目　　次

緒　言……66
§1　空間電流及び陽極電流の基本波値及び平均値……67
§2　格子一次電流の基本波値及び平均値……69
§3　格子二次電子放射の影響……72
結　言……76

緒　　言

電力増幅器或は電力發振器の設計の際には，陽極電流及び格子電流の基本波値及び平均値

を決定しなければならない。然るに從來の方法では多く（陽極電流）=（空間電流）とし，しかも空間電流は支配電壓に比例するとしている。然し實際には（陽極電流）=（空間電流）−（格子電流）であり，又空間電流は支配電壓の1.5乘或は一般にγ乘に比例する。格子電流については波形を簡單に假定するか，又は格子の二次電子放射を省略して電流分配を Tank-Lange の式に從うとしている。しかし實際には格子の二次電子放射の影響を無視することは出來ない。これ等を正確に決定することは特に大電力管に於て重要である。そこで筆者は上述のような點を考慮してかなり正確に決定する方法を導いた。

§1　空間電流及び陽極電流の基本波値及び平均値

一般にC級動作で空間電流の流れている範圍では，格子電壓は陽極電壓に等しい程度の値より負の小なる値の間を變化する故，Inselbildung 効果は近似的に省略出來る。又格子線陰極間の距離が一定で格子支持柱の影響を無視できるような構造の時には，三極管の空間電流は支配電壓の$\frac{3}{2}$乘に比例する。多くの送信管に於てはこの關係が成り立つ。

即ち

$$i_s = K(E_g - E_p/\mu)^{3/2}\ (\cos\omega t - \cos\theta_p)^{3/2}$$
$$= K(k - 1/\mu)^{3/2}\ E_p^{3/2}(\cos\omega t - \cos\theta_p)^{3/2}$$

但し

i_s = 空間電流

K = 眞空管のパービアンス

μ = 眞空管の增幅率

E_p = 陽極交流電壓振幅

E_g = 格子交流電壓振幅

$k = = E_g/E_p$ = 增幅器に於ては電壓增幅度の逆數，發振器に於ては反結合係數

θ_p = 陽極電流（空間電流）流通角の$\frac{1}{2}$

故にこの基本波値 I_{s1} は

$$I_{s1} = \frac{2}{\pi}K\left(k - \frac{1}{\mu}\right)^{3/2}E_p^{3/2}\int_0^{\theta_p}(\cos\omega t - \cos\theta_p)^{3/2}\cos\omega t\, d\omega t$$

而してC級動作に於ては $\theta_p < \frac{\pi}{2}$ なる故

$$\cos\omega t = 1 - \frac{(\omega t)^2}{2!} + \frac{(\omega t)^4}{4!}$$

$$\cos\theta_p = 1 - \frac{\theta_p^2}{2!} + \frac{\theta_p^4}{4!}$$

として充分である。

又 $\omega t = \theta_p \cos x$ とおけば

$$(\cos\omega t - \cos\theta_p)^{3/2} = \frac{\theta_p^3}{2\sqrt{2}}\sin^3 x\left\{1 - \frac{\theta_p^2}{12}(2 - \sin^2 x)\right\}^{3/2}$$

次に $\left\{1-\frac{\theta_p^2}{12}(2-\sin^2 x)\right\}^{3/2}$ を展開して第三項までとれば

$$I_{s1}=\frac{K(k-1/\mu)^{3/2}E_p^{3/2}}{\sqrt{2}\,\pi}\left\{\left(\theta_p^4-\frac{\theta_p^6}{4}+\frac{\theta_p^8}{96}\right)\int_0^{\pi/2}\sin^4 x\cos(\theta_p\cos x)\,dx\right.$$
$$+\left(\frac{\theta_p^6}{8}-\frac{\theta_p^8}{96}\right)\int_0^{\pi/2}\sin^6 x\cos(\theta_p\cos x)\,dx$$
$$\left.+\frac{\theta_p^8}{384}\int_0^{\pi/2}\sin^8 x\cos(\theta_p\cos x)\,dx\right\}$$

而して

$$\int_0^{\pi/2}\sin^{2n}x\cos(\theta_p\cos x)\,dx=\frac{\Gamma\left(n+\frac{1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)}{2\left(\frac{1}{2}\theta_p\right)^n}J_n(\theta_p)$$

但し $\Gamma(x)$ は x を變數とするガンマ函數であり，$J_n(\theta_p)$ は θ_p を變數とする n 次の第一種ベツセル函數である。

$$\therefore\quad I_{s1}=\frac{3}{2\sqrt{2}}K\left(k-\frac{1}{\mu}\right)^{3/2}E_p^{3/2}\left\{\left(\theta_p^2-\frac{\theta_p^4}{4}+\frac{\theta_p^6}{96}\right)J_2(\theta_p)\right.$$
$$\left.+\left(\frac{5}{8}\theta_p^3-\frac{5}{96}\theta_p^5\right)J_3(\theta_p)+\frac{35}{384}\theta_p^4J_4(\theta_p)\right\}$$

又一般に空間電流が支配電壓の3/2乘でなくて γ 乘に比例するものとすれば同樣にして

$$I_{s1}=\frac{1}{2^\gamma\sqrt{\pi}}K\left(k-\frac{1}{\mu}\right)^\gamma E_p^\gamma\left[\left\{1-\binom{\gamma}{1}\frac{\theta_p^2}{6}+\binom{\gamma}{2}\frac{\theta_p^4}{36}\right\}\right.$$
$$\times(2\theta_p)^{\gamma+1/2}\Gamma(\gamma+1)J_{\gamma+1/2}(\theta_p)+\left\{\binom{\gamma}{1}\frac{1}{12}-\binom{\gamma}{2}\frac{\theta_p^2}{36}\right\}$$
$$\left.\times(2\theta_p)^{\gamma+3/2}\Gamma(\gamma+2)J_{\gamma+3/2}(\theta_p)+\binom{\gamma}{2}\frac{1}{144}(2\theta_p)^{\gamma+5/2}J_{\gamma+5/2}(\theta_p)\right]$$

となる。

但し $\binom{\gamma}{n}=\frac{\gamma(\gamma-1)\cdots\cdots(\gamma-n+1)}{1,\ 2,\ 3\cdots\cdots n}$

又平均電流 I_{s0} は基本波電流と同樣な近似を行えば，3/2乘の時は

$$I_{s0}=\frac{1}{2\sqrt{2}}K\left(k-\frac{1}{\mu}\right)^{3/2}E_p^{3/2}\theta_p^4\left\{0.1875-0.02734\,\theta_p^2+0.0006307\,\theta_p^4\right\}$$

又 γ 乘の時は，$2\gamma+n\,(n=1,\ 3,\ 5\cdots\cdots)$ が整數でないなら數値計數の結果によると

$$\int_0^{\pi/2}\sin^{2\gamma+n}x\,dx\fallingdotseq 1.116(2\gamma+n)^{-0.461}\qquad\text{但し}\ (2\gamma+n)>3$$

なる關係式が成り立つことを利用すれば

$$I_{s0}=\frac{1}{2^\gamma}K\left(k-\frac{1}{\mu}\right)^\gamma E_p^\gamma\theta_p^{2\gamma+1}\left[0.1875\left(\frac{4}{2\gamma+1}\right)^{0.461}\left\{1-\binom{\gamma}{1}\frac{\theta_p^2}{6}+\binom{\gamma}{2}\frac{\theta_p^4}{36}\right\}\right.$$

$$+0.1562\left(\frac{6}{2\gamma+3}\right)^{0.461}\left\{\binom{\gamma}{1}\frac{\theta_p{}^2}{12}-\binom{\gamma}{2}\frac{\theta_p{}^4}{36}\right\}$$

$$+0.00095\left(\frac{8}{2\gamma+5}\right)^{0.461}\binom{\gamma}{2}\theta_p{}^4\Bigg]$$

これ等の結果と積分を圖式的に行つた結果とを比較すれば，多くの場合兩者の差異は1～2%程度以内である。

次に陽極電流は空間電流と格子電流の差であるから，陽極電流の基本波値 I_{p1} 及び平均値 I_{p0} は

$$I_{p1}=\frac{2}{\pi}\int_0^{\theta p}(i_s-i_g)\cos\omega t\,d\,\omega t$$

$$=\frac{2}{\pi}\left\{\int_0^{\theta p} i_s\cos\omega t\,d\,\omega t-\int_0^{\theta g} i_g\cos\omega t\,d\,\omega t\right\}$$

$$=I_{s1}-I_{g1}$$

同様に

$$I_{r0}=I_{s0}-I_{g1}$$

となる。故に I_{p1}，I_{g1} は本節で求めた I_{s1} 及び I_{s0} と次節に求める I_{g1} 及び I_{g0} より決定出來る。

§2. 格子一次電流の基本波値及平均値

格子の二次電子放射を省略するならば，一般に一次電流の電流分配は $i_p/i_g=\delta(e_p/e_g)^n$ で表される。ここに δ は電流分配率であり，n は一般に 0.5 に近い値である。故に格子一次電流 i_g は

$$i_g=\frac{i_s}{1+\delta\left(\frac{e_p}{e_g}\right)^n}=\frac{K\left(k-\frac{1}{\mu}\right)^\gamma E_p{}^\gamma(\cos\omega t-\cos\theta_p)^\gamma}{1+\delta\left(\frac{E_B-E_p\cos\omega t}{E_g\cos\omega t-E_c}\right)^n}$$

但し

E_B = 電源電壓

E_c = 格子偏倚電壓

又 $\omega t=0$ に於ける格子電流即格子電流最大値 I_{gm} は上式から

$$I_{gm}=\frac{K(k-1/\mu)^\gamma E_p{}^\gamma(1-\cos\theta_p)^\gamma}{1+\delta\left(\frac{e_{pmin}}{e_{gmax}}\right)^n}$$

但し

$e_{pmin}=E_B-E_p$ = 陽極最小電壓

$e_{gmax}=E_g-E_c$ = 格子最大電壓

故に一次格子電流の基本波値 I_{g1} と I_{gm} との比は

$$\frac{I_{g1}}{I_{gm}}=\frac{2}{\pi}\frac{1+\delta p^n}{(1-\cos\theta_p)^\gamma}\int_0^{\theta_g}\frac{(\cos\omega t-\cos\theta_p)^\gamma\cos\omega t\,d\omega t}{1+\delta\left\{\dfrac{1+pk(1-\cos\theta_g)-\cos\omega t}{k(\cos\omega t-\cos\theta_g)}\right\}^n}$$

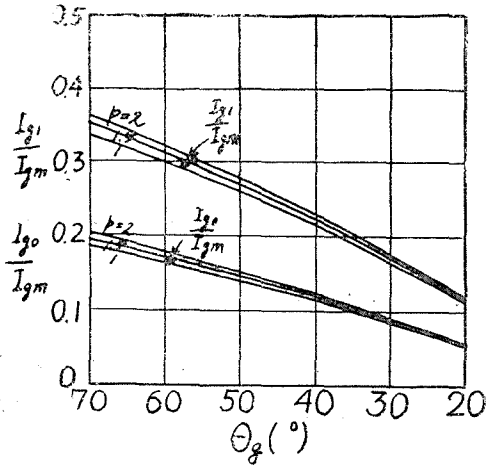
但し

θ_g = 格子電流流通角の½

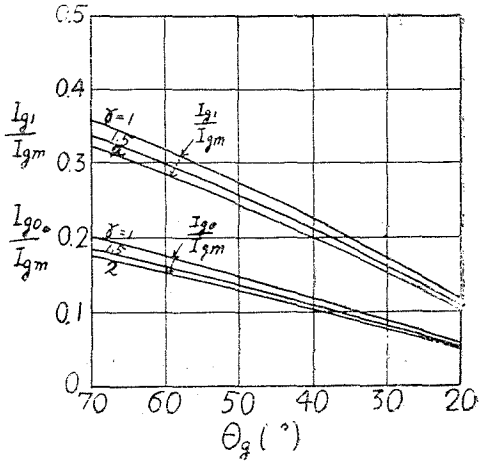
$p = e_{pmin}/e_{gmax}$

$$\cos\theta_p=\frac{(\mu+p)\cos\theta_g-(p+1/k)}{\mu-1/k}$$

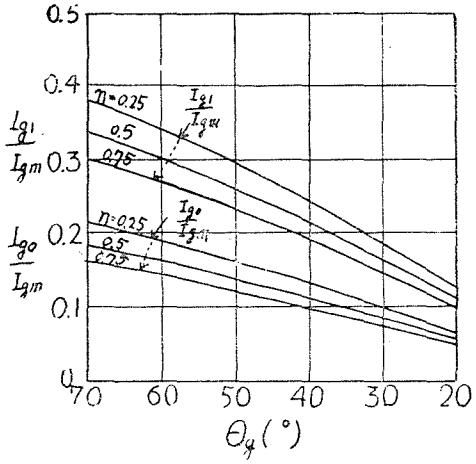
(a) p の影響



(b) γ の影響



(c) n の影響



第 1 圖 格子電流々通角 $2\theta_g$ と I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} との關係

又同様に一次格子電流の平均値 I_{g0} と I_{gn} との比は

$$\frac{I_{g0}}{I_{gm}}=\frac{1}{\pi}\frac{1+\delta p^n}{(1-\cos\theta_p)^\gamma}\int_0^{\theta_g}\frac{(\cos\omega t-\cos\theta_p)^\gamma d\,\omega t}{1+\delta\left\{\dfrac{1+pk(1-\cos\theta_g)-\cos\omega t}{k(\cos\omega t-\cos\theta_g)}\right\}^n}$$

上式により I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} は γ, n, δ, μ, k, p 及び θ_g の函數であるが，主として θ_g によつて變る。そこで θ_g 對 I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} の關係を數値計算によつて求めれば，第1圖(a)(b)(c)の如くなる。但し $\delta=3$，$\mu=20$，$k=0.2$ とした。(a)圖は $\gamma=1.5$　$n=0.5$ とし $p=1$，1.5 及び2とした場合である。一般に設計の際は $p=1\sim1.5$ であるから，圖より p による影響は極めて小である。(b)圖は $p=1$，$n=0.5$ とし，$\gamma=1$，1.5 及び2とした場合である。γ は一般に1.5に近い値であり，圖によれば γ による影響も比較的小である。(c)圖は $p=1$，$\gamma=1.5$ とし $n=0.25$，0.5 及び 0.75 とした場合である。n は一般に 0.5 に近い値であるが，眞空管によつては以上の範圍程度で變る場合もあり，n による影響は前二者に比し大である。

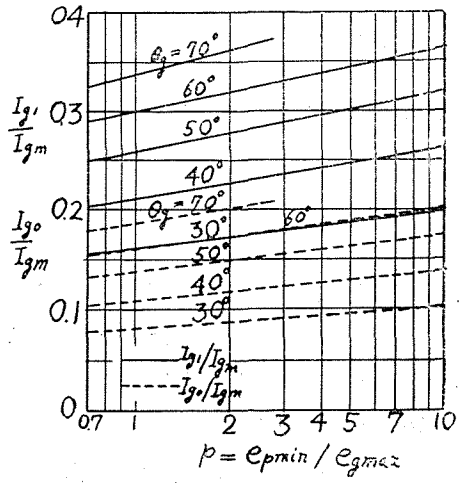
次に電力發振器等に於て負荷の變動により p が變化した時の影響を知るために，θ_g をパラメーターとして p と I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} との關係を求めた所第2圖の如くなつた。但し $\gamma=1.5$，$n=0.5$，$\delta=3$，$\mu=20$，$k=20$ とした。圖に於て實線は I_{g1}/I_{gm}，點線は I_{g0}/I_{gm} である。これより p と I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} との間には

$$I_{g1}/I_{gm}=a_1+b_1\log_{10}p$$

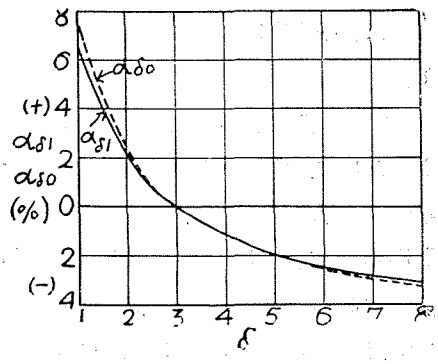
$$I_{g0}/I_{gm}=a_0+b_0\log_{10}p$$

なる關係が成り立つ。

又眞空管により δ は2～6程度の値をとる故，δ の變化により I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} の變化する割合を求めた。その結果は第3圖の如くなつた。但し $\gamma=1.5$，$n=0.5$，$\mu=20$，$k=0.2$，$p=1$ $\theta_g=60°$ とした。圖に於て縱軸の $\alpha_{\delta1}$ は $[(I_{g1}/I_{gm})-(I_{g1}/I_{gm})_{\delta=3}]/(I_{g1}/I_{gm})_{\delta=3}\times100\%$

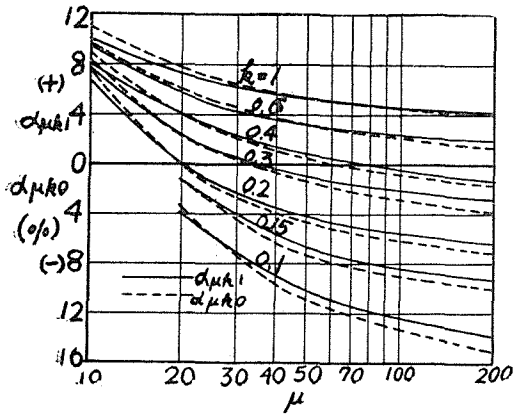


第2圖　$p=e_{pmin}/e_{gmax}$ と I_{g0}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} との關係



第3圖　電流分配率 δ の影響

であり，$\alpha_{\delta 0}$ は同式で I_{g1} の代りに I_{g0} と置いたものである。なお $(I_{g1}/I_{gm})_{\delta=3}$ は $\delta=3$ の時の I_{g1}/I_{gm} である故，$\alpha_{\delta 1}$，$\alpha_{\delta 0}$ は δ の小なる程大であり，$\delta=2\sim6$ の範圍では $\delta=3$ の時の ±2％以内にあり，その變化は小である。



第 4 圖　增幅率 μ 及び反結合係數（電壓增幅の逆數）k の影響

又眞空管による μ の變化及び回路による k の變化により I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} の變化する割合は第4圖の如くなる。但し $r=1.5$，$n=0.5$，$\delta=3$，$p=1$，$\theta_g=60°$ とした場合である。圖に於て實線は $\alpha_{\mu k1}$，點線は $\alpha_{\mu k0}$ であり，$\alpha_{\mu k1}$ は $[(I_{g1}/I_{mg})-(I_{g1}/I_{gm})_{\mu=20,\ k=0.2}]/(I_{g1}/I_{gm})_{\mu=20,\ k=0.2}\times 100\%$ であり，$\alpha_{\mu k0}$ は同式に於て I_{g1} の代りに I_{g0} と置いたものである。なお $(I_{g1}/I_{gm})_{\mu=20,\ k=0.2}$ は $\mu=20$，$k=0.2$ の時の I_{g1}/I_{gm} の値である故，$\alpha_{\mu k1}$，$\alpha_{\mu k0}$ は $\mu=20$，$k=0.2$ の時の値に對する變化の割合である。圖より μ の小なる程又 k の大なる程 $\alpha_{\mu k1}$，$\alpha_{\mu k0}$ は大であり，普通 $\mu=10\sim100$，$k=0.15\sim0.5$ の程度であるから，$\mu=20$，$k=0.2$ の時の略 ±8％以内にあり，この影響は比較的大である。

電力增幅器或は電力發振器の設計の際は，與えられた p，r，n，θ_g に對して第1圖（a）（b）（c）より I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} を決定し，與えられた δ，μ 及 k びに對する較正は第3圖及び第4圖より求めることが出來る。又 I_{gm} の値は前式より求められるから，これ等より一次電流の I_{g1} 及び I_{g0} が決定される。

§3. 格子二次電子放射の影響

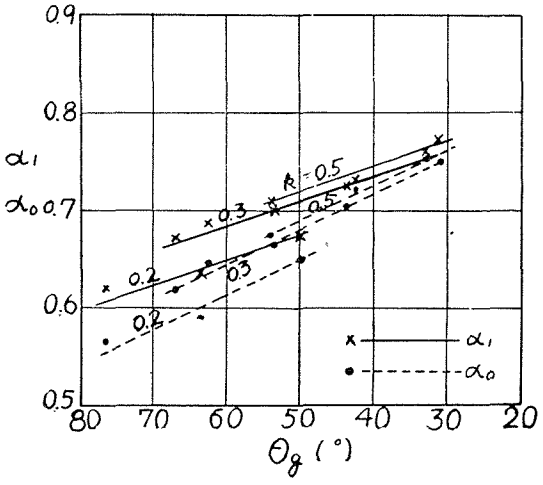
前節に於ては格子一次電流の基本波値及び平均値を決定したが，實際には格子の二次電子放射は省略出來ない。本節では格子二次電子放射がある場合と一次電流のみの場合とを比較した。

實際の測定値から求めた I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} は二次電子放射の影響が入つている故，測定値として眞空管の定電流特性曲線圖より眞の I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} を求め，それと格子一次電流の I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} との比を求めた結果，第5圖（a）（b）（c）の如くなつた。（a）圖は $UV-207$ で $\mu=20$，$p=1$（b）圖は $UV-848$ で $\mu=8$，$p=1$（c）圖は $UV-863$ で $\mu=50$，$p=2$ である。又これ等の眞空管の定電流曲線圖は Mouromtseff* 氏等の論文中の圖面を擴大して使用した。圖に於て×印及び實線は α_1，・印及び點線は α_0 であり，α_1 は $[I_{g1}/I_{gm}]_{1\sim2}/$

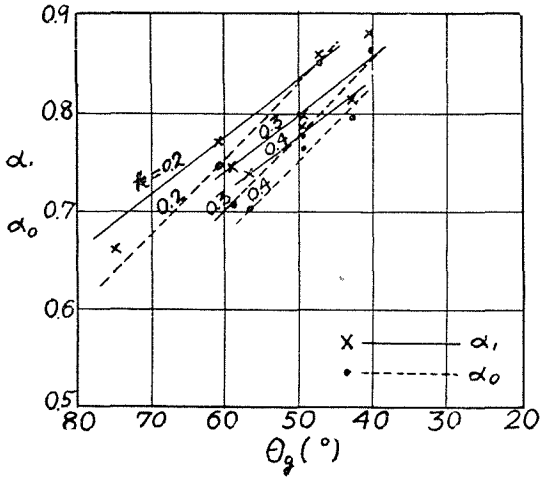
* I. E. Mouromtseff and H. N. Kozanowski "Analysis of the Operation of Vacuum Tubes as Class C Amplifiers" I. R. E. 1935 p. 752

$[I_{g1}/I_{gm}]_1$ であり，α_0 は同式に於て I_{g1} の代りに I_{g0} と置いたものである。$[I_{g1}/I_{gm}]_{1-2}$ は定電流特性曲線圖より求めた眞の値即ち一次電流から二次電子放射を差し引いたものであり，$[I_{g1}/I_{gm}]_1$ は§2で求めたもので一次電流のみの計算値である。これ等の結果より α_1，α_0 は k をパラメーターとし略々 θ_g に逆比例する。α_0 の値は α_1 より小であり，又その傾斜は α_0 の方がやや大である。又 k による變化は割合に少い。*UV*−207 及び *UV*−848 では k の大なる程 α_1，α_0 は大であり，*UV*−863 ではその逆である。

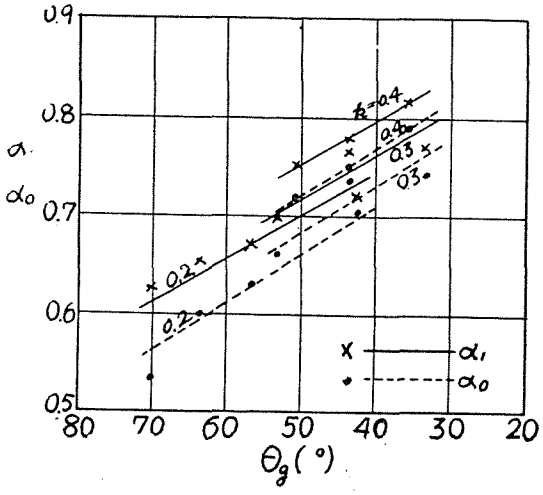
(a) *UV*-207



(b) *UV*-848



(c) *UV*-863

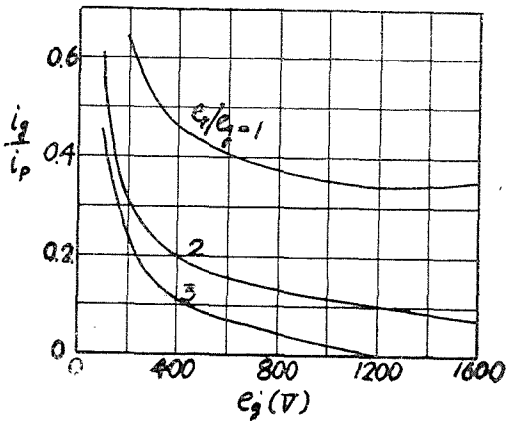


第 5 圖　格子電流々通角 $2\theta_g$ と α_1 及び α_0 との關係

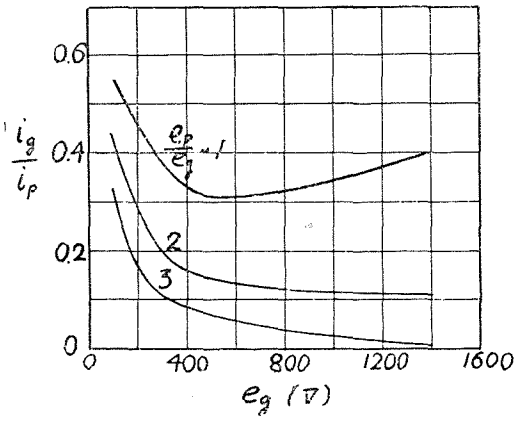
いまこの結果を考察する前に e_p/e_g をパラメーターとして e_g 對 i_g/i_p の關係を先に使用した定電流特性曲線圖より求めると第6圖(a)(b)(c)の如くなる。これ等の圖で e_g = 400V 位以下で急激に增加しているが，これはこの間で一次電流分配が急に變化して，δ が一定でない

爲である。e_g が更に大なる範圍ではその變化は緩慢であるが,これはこの間で δ 即一流次電分配特性が平坦なためである。而してこの部分で氣付くことは e_p/e_g が大なる程 i_g/i_p 減少の傾斜は大であり，$e_p/e_g=1$ の時は反つて增加しているものもある。この理由は次の如く考えられる。即ち e_p/e_g =一定の時は格子からの二次電子の軌道は e_g の値に關せず一定であり，その中或るものは陽極に達し，他のものは格子に引返すが，格子の近傍には空間電荷が存在するためその

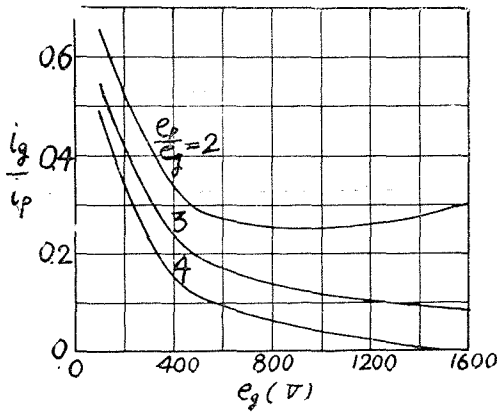
(a) *UV*-207



(b) *UV*-848



(c) *UV*-863



第 6 圖 格子電壓と（格子電流)/(陽極電流）の關係

割合は e_g の値によつて異る。即ち $e_p/e_g>1$ では e_g の大なる程格子陽極間の電位差は大となり陽極に入る二次電子は增す。しかも e_p/e_g の大なる程增加する。そのため e_p/e_g が大なる程 i_g/i_p 減少の割合は大になる。又 $e_p/e_g=1$ に於ては e_g の値に關せず格子陽極間の電位差は 0 なる故，陽極に向う二次電子は格子に戻り，格子の近傍に空間電荷を形成するが，之は格子の二次電子放射特性にのみ支配せられる。而して格子二次電子放射特性はこの曲線を逆さにした如き形である。

さて第5圖の結果の考察に戻り，先ず α_1 及び α_0 が θ_g の増加する程減少する理由を考えてみる。一般に二次電子放射が無く δ が一定ならば θ_g の大なる程 I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} は大であり，第6圖の曲線群は横軸に平行な直線群となる。今 p 及び k が一定の時，各 e_p/e_g に於ける i_g/i_p と e_{pmin}/e_{gmax} に於ける i_g/i_p との比は第6圖より分る如く θ_g の大なる程即ち e_{gmax} の大なる程小となる。而して二次電子放射がなく δ が一定ならばこの比は e_{gmax} に關せず一定である。それ故二次電子放射のある時は無い時に比し，θ_g の大なる程 I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} の増加の割合は小であり，結局 α_1，α_0 は θ_g の大なるに從い小となる。

次に k に對する影響について考察する。p 及び θ_g が一定の時は二次電子放射がなければ k が大なる程 I_{g1}/I_{gm} 及 I_{g0}/I_{gm} は大となる。しかし二次電子放射がある時は k の大なる程格子電流通角中 e_p/e_g の小なる部分の割合は大となり，第6圖より分る如く I_{g1}/I_{gm} 及 I_{g0}/I_{gm} の増加の割合は小になり α_1, α_0 は大になる傾向を持つ。而し反面 k の大なる程 e_{gmax} は大となり格子電壓の大なる部分が多く θ_g が大になつた時と同樣に α_1, α_0 は減少の傾向を持つ。勿論 θ_g の時よりは減少の程度は小である。このように増加の原因と減少の原因とがあり，増加の程度の大なる時は k の大なる程 α_1、α_0 は大となり，減少の程度の大なる時はその逆となる。かしし k による變化は僅少である。

次に p に對する變化は上記と同樣な方法で求めた結果によると，$p=1\sim1.5$ の範圍では次の關係式が成り立つ。即ち

$$\frac{(I_{g1})_{1-2}}{(I_{g1})_1}=\left[\frac{(I_{g1})_{1-2}}{(I_{g1})_1}\right]_{p=1}\times(1+\alpha\log_{10}p)$$

但し $(I_{g1})_{1-2}$ は一次電流から二次電子放射を差し引いた I_{g1} であり，$(I_{g1})_1$ は一次電流のみの I_{g1} である。又 α は眞空管によつて異る定數であり，＋或は－の符號を持つが，多くの場合－である。同樣の關係は $(I_{g0})_{1-2}/(I_{g0})_1$ についても成り立つ。この結果も θ_g 及び k の場合と同樣第6圖より推察される。

以上の如き結果より，p が與えられた場合 α_1，α_0 に對しては次の關係式が成り立つ。即ち

$$\alpha_1\fallingdotseq(\alpha_1)_{\theta g0}+m_1(\theta_{g0}-\theta_g)$$
$$\alpha_0\fallingdotseq(\alpha_0)_{\theta g0}+m_0(\theta_{g0}-\theta_g)$$

ここに $(\alpha_1)_{\theta g0}$ 及び $(\alpha_0)_{\theta g0}$ は $\theta_g=\theta_{g0}$ に於ける α_1 及び α_0 である。θ_{g0} は任意の値でよいが，50° 位が適當と思われる。又 m_1，m_0 は眞空管により異る定數である。前記のように $(\alpha_1)_{\theta g0}$ 及び $(\alpha_0)_{\theta g0}$ は k の値により多少變るので，精密を要する時は $k=0.2\sim0.5$ の範圍についてこれを求めて置けばよいが，簡單の場合は $k=0.3$ の時の値を求めておく程度でよい。

終りに二次電子放射を考慮に入れた $(I_{gm})_{1-2}$ と一次電流のみの場合の $(I_{gm})_1$ との比 $(I_{gm})_{1-2}/(I_{gm})_1$ を考えてみる。$e_{pmin}/e_{gmax}=$ 一定の時は二次電子放射のある時の e_g 對 i_g/i_g は第6圖の如くなり，一次電流のみの時はこの曲線は横軸に平行な直線となる。故に $(I_{gm})_{1-2}/(I_{gm})_1$ の

曲線も第6圖と全く同様な特性を示す。即ち $e_g=400$V 位まで急激に減少し續いて平坦部に入り，更に e_g が大になると若干增加する傾向になる。又 p に對する變化を求めれば

$$(I_{gm})_{1-2}/(I_{gm})_1=p^{-l}$$

なる關係が成り立つ。l は略々定數であるが θ_g の大なる程大なる傾向を持つ。

結　　言

三極管のC級動作における空間電流，陽極電流及び格子電流の基本波値及び平均値を下記の如く正確に求める方法を導いた。

(1) 空間電流が支配電壓の3/2乘及び γ 乘に比例する場合の基本波値及び平均値の式を求めた

(2) 格子電流については一次電流の電流分配を $i_p/i_g=\delta(e_p/e_g)^n$ として，I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} を θ_g の函數として曲線を求めた。又 p, γ, n, δ, μ 及び k 等の影響についても求めたが，これ等の影響は概して少い。

(3) 格子の二次電子放射を考慮した時の I_{g1}/I_{gm} 及び I_{g0}/I_{gm} と一次電流のみの時のそれらとを比較した。それらの比は略々 θ_g に逆比例し，0.6～0.9の程度である。

(4) 陽極電流の基本波値及平均値は空間電流のそれらと格子電流のそれらの差より求められる