

3S4 のグリッド電流の測定

李 燦 熙・富 永 五 郎

1. ま え が き

微小電流の測定に使われるグリッド電流の小さな真空管、いわゆる電位計用真空管は、以前は UX-54 のようなものばかりであったが、最近ではサブミニチュア型の 5800 (グリッド電流 3×15^{-15} amp) 等がつくられていて非常に便利になった。わが国でも一、二のメーカーが、試作しているようだが、まだ市場には現われず、したがって輸入にまたなければならぬ現状なので、高価であるため、それほどの性能を要求しない場合には普通ラジオ用受信管にたよることが多い。たとえば電極引出線がはなれているために、その間の絶縁がよい利点のある 954 のようなエーコン管を、electrometer tube connection にしてグリッド電流を $\sim 10^{-16}$ amp 程度にできたという

under-rating の状態で使わなければならないが、それでも μ の値として数 10 をうるのは楽である。under-rate すると多くの真空管はプレート電流が非常に減少して数 μa になり使いにくい、出力管ではその状態でもなお数 $10 \mu a$ のプレート電流がえられる。そのなかでも 3S4 は推賞されている²⁾。しかしこのような目的に使える球はどれでもいいというわけにはゆかない。10本の中で1~2本あるかどうかというわけである。しかも $\sim 15^{-15}$ amp を測るのであるから、多くの中から適当な球をえらび出すという仕事はあまり楽しい仕事ではない。われわれも 3S4 のいくつかのグリッド電流をかなりくわしく測定してみたが、それに使った装置が案外便利で、これならそうおっくうがらずにやれると思ったので、ここにその装置を紹介し、あわせてわれわれの測定した結果を報告する。

第 1 表 小型電位計管一覽

	V_f (V)	I_f (A)	V_p (V)	V_{cg} (V)	V_g (V)	I_p (μa)	g_m (μv)	μ	I_g (A)
Raytheon Mfg. Co. CK 5886 (5 極 SM)	1.25	0.01	10.5	10.5	-3	200	160	2	2×10^{-12}
CK 5889 (")	1.25	0.075	12	4.5	-2	14	14	—	3×10^{-15}
Vitreen Instr. Co. 5803 (3 極 SM)	1.25	0.01	7.5 10.0	—	-1.7 -2	100 250	150 200	—	2×10^{-14} 3×10^{-15}
5800 (4 極 SM)	1.25	0.01	4.5	3.4	-3	12	15	1	3×10^{-15}
東 芝 * 7501 (3 極 SM)	1.5	0.025	22.5	—	-3	150	65	—	3×10^{-13}
7502 (5 極 SM)	1.25	0.01	12	4.5	-2	9	12	—	$\sim 10^{-14}$

* 東芝の製品はいずれも試作品

報告もある。そのうえラジオ用真空管をつかう方がかえって有利な点がある。それは UX-54 はもちろんであるが、その他の電位計用真空管も electrometer tube connection で使うようつくられた球では g_m はある程度えられても μ は必ず小さく ~ 1 である。出力をガルベノメータで読むために電流増巾管として使う場合にはそれでもよいが、後段で増巾を行う場合、あるいは電圧饋還をかけて安定化を計る回路に使用する場合は電圧増巾を行わなければならないので、 μ の小さいことは適当ではない。しかしふつうの受信管を利用すると、かなりの μ をうることができる。ただしグリッド電流をへらすために、つぎに述べる理由によってプレートやフィラメントの電圧を規定値よりはるかに低い状態、いわゆる

2. グリッド電流の原因とその対策

グリッド電流の原因については以前から多くの研究がある³⁾。それによるとその原因はつぎのようになる。

(1) 熱陰極から放射される電子が温度による初速度をもっているために、負のグリッドにとびつく。

(2) 真空管内の残留気体分子が陽極電圧で加速された電子によって、電離されてできたイオンが

負のグリッドに流れ込む。

(3) 陰極より放射されるイオンによるもの。

(4) グリッドが熱陰極の熱で熱せられることによっておこるグリッドエミッションによるもの。

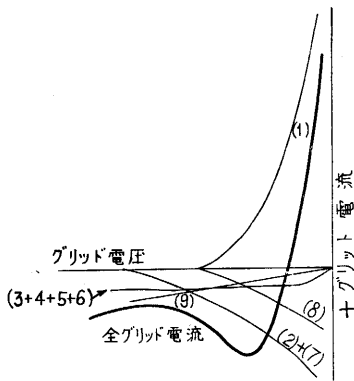
(5) 外部から、あるいは熱陰極からの光によっておこるグリッドの光電効果で、グリッドから電子が放射される。

(6) 陽極が電子にたたかれて生ずる軟 X 線によって残留ガス分子の電離がおこり、つくられた正イオンがグリッドに流れ込む。

(7) 陽極が熱せられ、電子でたたかれるために陽極物質に吸蔵されていたガスが、イオンになって放出される。

(8) グリッドがイオンでたたかれるために生ずる 2 次電子放出がある。

(9) 電極間のリークによるもの。



第 1 図 グリッド電流とその成分

これらをそれぞれ定性的に示したのが第 1 図である。

そこでそれぞれの原因に対する対策はつぎのようになる。

(i) なるべく低い負のグリッドバイアスで働かせる〔原因(1)〕。

(ii) なるべく低い陽極およびスクリーングリッド電圧で働かせる〔原因(2), (6), (7), (8)〕。とくに原因(2)に対しては残留ガス分子の電離電圧下にしなければならない。これはおおよそ $\geq 10V$ である。

(iii) 陰極の温度をなるべく下げて使用する〔原因(1), (3), (4)〕。

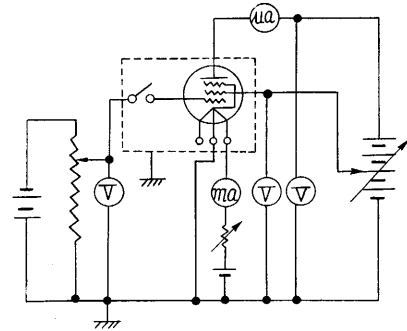
(iv) 真空管を外からの光に対して遮蔽して使用する〔原因(5)——これは非常に大きい〕。

(v) このように under-rating で作動させた場合になお残るグリッド電流は、主として電極間のリークと原因(3)によるものである。そこで陰極にいちばん近いグリッド(ふつうはコントロールグリッドとして使うグリッド)に陽極と同程度の正電位を与えて空間電荷グリッドとして使用し、陰極よりのイオン放出をおさえる。この接続が electrometer tube connection といわれるものである。しかし陰極の温度が $950^{\circ}K$ 以下の場合にはこれによるものが $< 10^{-17}amp$ との報告がある。

(vi) 電極間リークは實際上非常に問題である。測定したグリッド電流の形が第 1 図に示したように、グリッド電位が負になるにしたがって一度(絶対値で)減少し、ふたたび増加する形をとらず、増加する一方になるのは、電極間リークが大きいためである。これには球の内部と外部がある。内部の原因はゲッタによるガラス内面のよごれや電極をささえるマイカ等の絶縁不十分である。これをさけるにはでき上がった真空管であれば、その中から選ぶよりしかたがない。外部の原因はソケットなどを使わずにガラスの表面を清浄に保つことで改善できる。

3. グリッド電流の測定

回路は第 2 図に示すものでとくに変わった点はない。グリッドに負電位を与えて S を切つてグリッドを浮かせば、グリッド電位の時間的変化は陽極電流によって読むことができる。dt 時間の間のグリッド電位の変化を



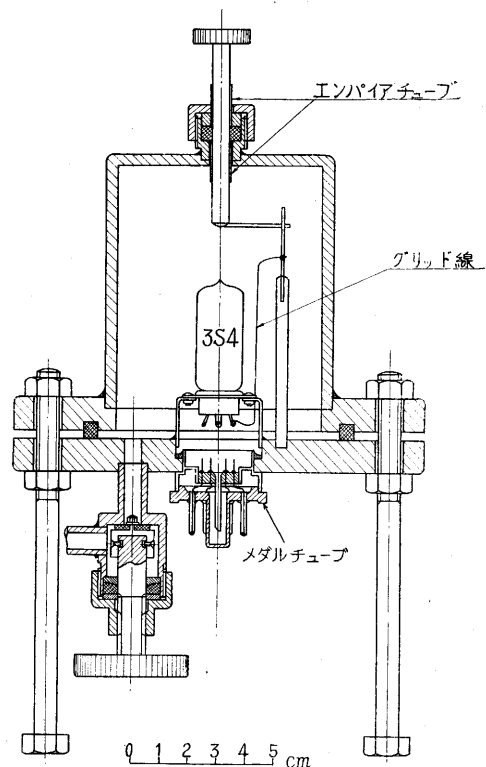
第 2 図 グリッド電流測定回路

δV_g , グリッドの浮遊容量を C_g とすればグリッド電流 i_g は

$$i_g = C_g \frac{\delta V_g}{\delta t}$$

で与えられる。

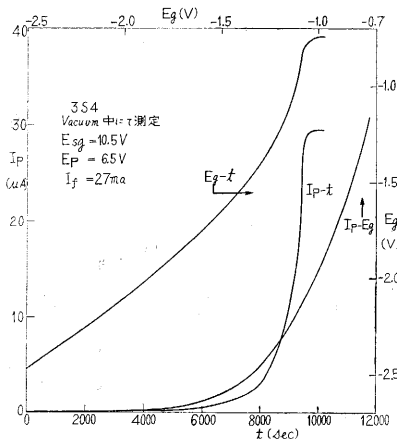
グリッド電流を測定する場合にはまず電極引出線の間外部でのリークを完全にのぞかないと意味がない。電極間には $\sim 10V$ の電圧がかかり、測定する電流が $\leq 10^{-14}amp$ とすれば電極間絶縁は $10^{15}\Omega$ 以上なければならない。この値はなかなか得られるものではない。そこで近頃ではふつう絶縁用のシリコンラッカーを塗布(もちろんその前にアルコールやエーテルで十分清浄に洗って)、さらに乾燥剤を入れた密封箱の中で測定を行う。しかしシリコンラッカーは $200^{\circ}C$ ぐらいで焼き付ける必要が



第 3 図 グリッド電流測定容器

あり、相当な手間である。一方受信管の中から上記の目的に使えるものは 10 本のうち 1~2 本というありさまであるから、グリッド電流を測ってみるだけのためにいちいちラッカーを焼き付けるのもたいへん面倒である。そこで第 3 図に示すような容器をつくつた。石けん、アルコール、ベンジン等によく洗った球をこの中で測定したが、測定例に示すようにほとんど電極間のリークは認められなかった。この容器は軟鋼でつくつてあるので、電磁的シールドと光の遮蔽をも同時に兼ねている。電極の引出しにはメタルチューブのベースを利用し、内部には被測真空管のさしかえに便利なためと、真空管への足にハンダ付けをさけるためにソケットをおいた。ただしグリッドの足のところはソケットをけずりとり、グリッドのリードがほかに接触することなく、ガラス棒の先に導き、外部から電位を与えられるようにした。スイッチ S は上部のツマミをわずかに回転することで行われる。グリッドの配線を複雑にするとリークの原因をふやすと同時に C_g の増加をきたし、感度を低下させるが、この程度では 3S4 の場合で 10% 以下ですむ。

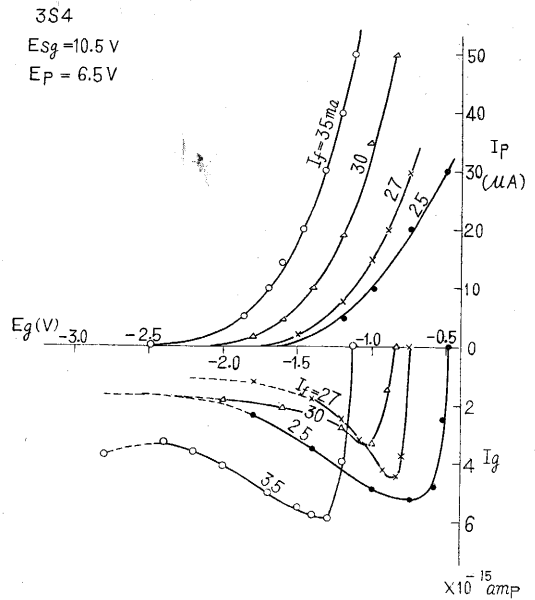
グリッドに適当な負の電位を与えてから S を切ると、グリッドの電位はグリッド電流によってある速度で平衡電位に近づいてゆく。それをプレート流波の変化で測定するのであるが、このやり方はなかなか工合よく、とくに表面のリーク電流はほとんどおさえることができている。プレート電流とグリッド電位の関係はあらかじめ測定しておけばグリッド電位の時間的変化を知ることができる。測定の 1 例を第 4 図に示す。ただしグリッド電流の算出に用いたグリッドの容量は静的測定で求めた $7.4 \mu\text{mf}$ を用いた。



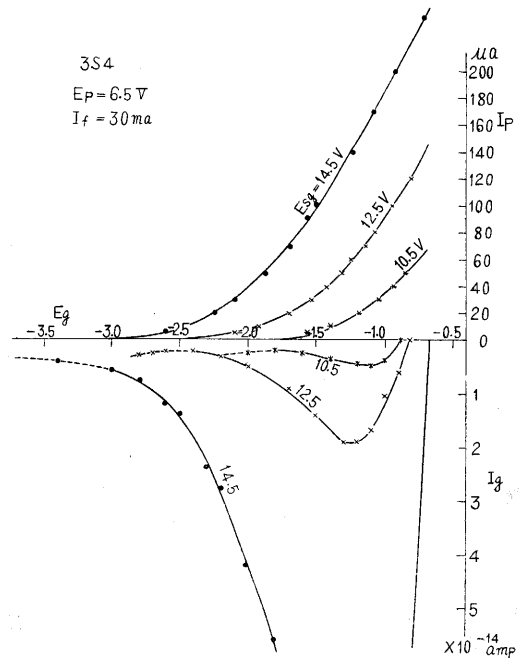
第 4 図 グリッド電位ドリフト法によるグリッド電流測定の一例

4. 測定の結果

被測管は偶然に研究室にあった“NEC”製の 3S4、3 本を用いた。うち 1 本は問題にならず、他はグリッド電流が以下と同じ条件で $\sim 10^{-13}$ amp 程度。ここにはあと



第 5 図 フィラメント電流とグリッド電流の関係

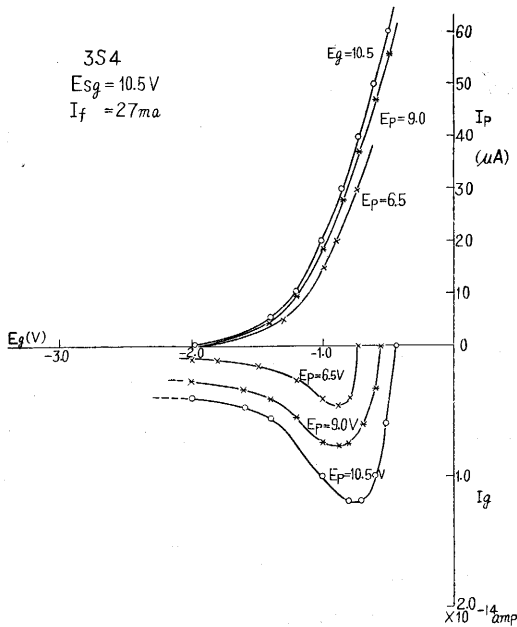


第 6 図 S G 電圧とグリッド電流の関係

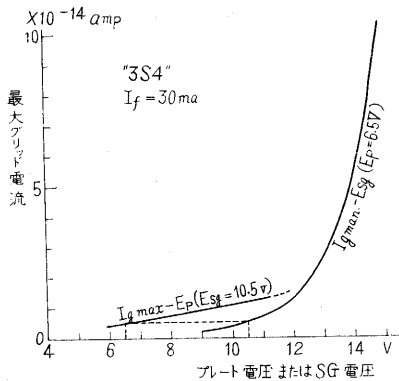
の 1 本の例を示す。Hay²⁾にしたがってフィラメントは半分を使用した。

まずフィラメント電流のグリッド電流におよぼす影響を調べると、25~35ma (規格値 50mm) の範囲でほとんど影響のないことがわかる (第 5 図)。

つぎにスクリングリッド電圧の影響であるが、これはスクリングリッドがコントロールグリッドに一番近いことから当然予想されるように、一ぱん影響が大きく、第 6 図に示すごとくである。とくに 12V をこえると急激



第 7 図 プレート電圧とグリッド電流の関係



第 8 図 最大グリッド電流のプレート電圧, SG電圧に対する関係

にグリッド電流は増加する。

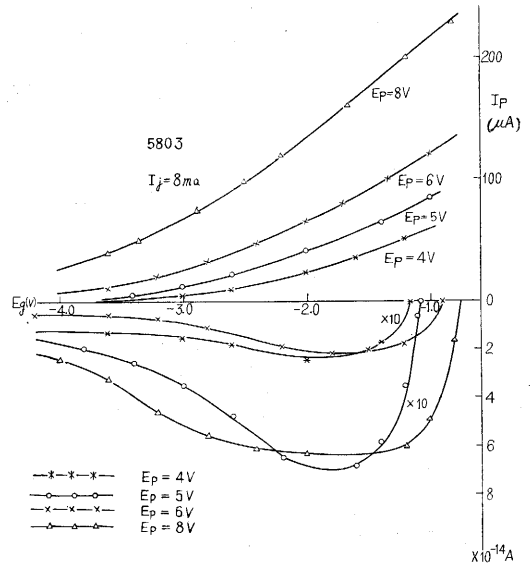
プレート電圧の影響はこれにくらべると多少少ないといつてよい(第7図)。最大グリッド電流を $E_p \cdot E_{s0}$ に対して描くと第8図のごとくなっている。

この真空管で $E_p = 6.5V$, $E_{s0} = 10.5V$, $I_f = 27ma$ で $E_p = -1.2V$ 付近では3定数はつぎの通りである。

$$r_p = 2.1M\Omega, g_m = 60\mu\text{V}, \mu = 130$$

つぎに電位計用真空管としてつくられている Victoreen 5803 について測定を行って第9図, 第10図をえた。この真空管の規格は第1表の通りである。

第10図でみると最大グリッド電流のプレート電圧に対する対数プロットが $E_p = 6V$ でおさまがっていることから, この点を境にしてグリッド電流を支配する主な原因が異なるのかもしれないと考えられるが, あまり明らかでない。実測による 5803 の三定数は下の動作点でつ



第 9 図 5803 のグリッド電流

ぎの通りになる。

$$r_p = 24k\Omega$$

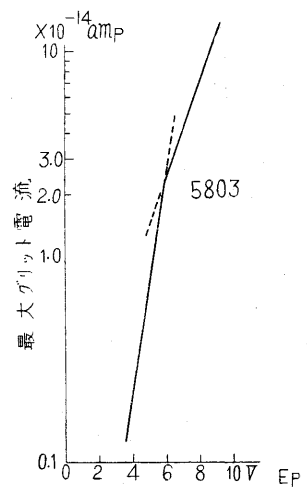
$$g_m = 70\mu\text{V}$$

$$\mu = 1.8$$

($E_p = 7V$, $E_g = -2.0V$, $I_f = 10ma$ において)

このようにみると, グリッド電流が 10^{-14} amp 程度で十分な用途には, 球をえらぶという手続きをめんどうがらなければ 3S4 が十分使えるし, その上 μ の大きいことの必要な目的には, むしろ推奨しうることがわかる。

この程度のグリッド電流の球の存在の確率は問題であるが, われわれは前にも述べたように偶然, 研究室にあった3本のうちの1本にこれを見出したので, これですぐ確率をうんぬんすることはできないとはいえ, この程度のグリッド電流のものであればおそらく10本もさがせば, 必ず2~3本は見出されるのではなからうかと思われる。(1956.10.20)



第 10 図 5803 の最大グリッド電流のプレート電圧に対する関係

文 献

- 1) Hay; Electronic Eng. **23** 258 (1951)
- 2) Shimoda. & Takayama; J. Phys. Soc. Jap. **10** 387 (1955)
- 3) たとえば Metcalf & Thompson; Phys. Rev. **36** 1489 (1930), Yarwood & Crossette; Electronic Eng. **26** 14 (1954, Jan.)
- 4) Warren; G. E. C. J. **6** 118 (1935)