対数増幅器に関する二三のノート

木 谷 恵 一*・松 本 隆**

(昭和33年12月1日受付)
Some Notes on Logarithmic Amplifier.

K . Kiya (Musashi Technical College, Tokyo, Japan)

T. Matsumoto (Tokuda Seisakusho Co. Ltd, Tokyo, Japan)

In order to measure high vacuum, it is generally recognized to use an ionization gauge for which a wide range of measurement ($10^{-2} \sim 10^{-11}$ mmHg) is desirable and in that case an ion-current of the gauge changes widely at constant electron current. For this purpose, we have to measure changing the indicator range as a rule.

For the purpose of avoiding such complicated formalities, we tested a circuit consisting of both of a logarithmic amplifier and a differential one where the logarithmic converter tubes are used. The circuit has already been reported by P. Hariharan and M. S. Bhalla,⁽¹⁾ but tube 6F8G mentioned in the report has been difficult to get for us.

After we carefully investigated on what kind of tubes we can use, we devised a means of expanding a logarithmic characteristic between grid voltage and grid current. As a result of it, we find the possibility to read from 10^{-3} to 10^{-6} mmHg at single range.

1. 緒 言

高真空度の測定には一般に電離真空計を用いるがその測定範囲はかなり広いことが望ましく ($10^{-2} \sim 10^{-11}$ mmHg) したがってそのゲージのイオン電流もまた広範囲に変わる。この目的に沿うために普通は指示計器の Range を切り換えて測定しなければならない。そこでこの繁雑さを避けるために対数変換管を用いて広範囲に変わる入力電流による電圧を圧縮する方法がある。これについてはすでに P. Hariharan と M. S. Bhalla⁽¹⁾ によって発表されているが、彼等が使用した 6F8G は比較的入手困難なため、これに代る如何なる真空管を選ぶべきかを検討し、かつ格子電圧 E_g 対格子電流 I_g の対数関係を出来るだけ延伸すべく工夫したものが本文である。その結果 ($10^{-3} \sim 10^{-6}$ mmHg) まで、単一 Range で直読可能の見込をえた。

2. 原 理

2-1 電離真空計

電離真空計の構造、印加電圧、ならびに気体の種類がきまれば真空度 P は

* 武蔵工業大学通信工学教室

** 徳田製作所技術部研究課

$$P = K \frac{I_i}{I_e} \dots\dots\dots(1)$$

Fig. 1 Basic circuit for ion current measurement.

で与えられる。
ここに K は真空計による定数で I_e および I_i は陽イオン電流と電子電流を示す。
したがって I_e が一定の場合 P は I_i に比例するから I_i を計測すれば真空度 P が測定出来る。なお、 $-E_p$ の変化に対する I_i の変化は極めて小さくその内部抵抗

r_i はほぼ無限大と見做しうる状態⁽²⁾で働かせる。

2-2 三極真空管のグリッド電圧とグリッド電流の関係

三極真空管を正常の状態すなわちグリッドを負電位、プレート为正電位の範囲で動作させる場合のグリッド電圧とグリッド電流の関係については昔から多くの研究⁽³⁾がある。一般にグリッド電流を構成する因子としては、

- (1) 熱陰極から放射される電子が初速度を有するための成分。
- (2) 管内の残留ガスならびに各電極の吸蔵ガス分子がイオン化されて生ずる成分。
- (3) グリッドと他電極間の漏洩電流による成分。
- (4) (1)によりグリッドから放出されたガスのイオン化による成分。
- (5) グリッドよりの放射電子によつて生ずる成分

Fig. 2 Characteristics of grid current.

が、その主なるものでそれらはFig. 2の示すごとくである。Fig. 2の(6)はこれらを合成したものをあらわす。他にグリッドよりの光電子流、グリッドがイオン衝撃を受けて生ずる二次電子放射等の影響もある。このうち(1)の部分は⁽⁴⁾

$$\log I_g = \log I_s - \frac{e}{kT} E_g \dots \dots (2)$$

で与えられる。ただし e : 電子の電荷, k : Boltzmanの定数, T : 陰極の絶対温度, I_s : 飽和電流である。

したがつて $\frac{e}{kT}$ は陰極の温度が一定であればつねに一定で陰極の形、陰極放射、真空管の幾何学的寸法には無関係である。ただし $\frac{e}{kT}$ は陰極の温度により変るものであるからヒーター電流は極めて安定化させる必要がある。これらグリッド電流の合成されたものは Fig. 2の(6)のごとくで、比較的グリッド電圧が浅い範囲のグリッド電流a, bの傾斜は、ほぼ初速度電流の傾斜に等しく E_g に対する I_g の関係は対数的となる。つぎにグリッド電圧が一層負となりグリッド合成電流がこれより小となつてb, c, dの範囲に入ると、 E_g 対 I_g の関係は次第に対数関係から外れる。本研究においては、この E_g 対 I_g の関係を

いかにして安定化ししかも広い範囲にわたり対数的にするかという点に重点を置く。一方 $\log I_s$ は陰極よりの全放射電流、格子～陰極間の接触電位差等により変化をうけるが、この値は E_g 対 I_g 特性の対数的関係には無関係である。

2-3 対数増幅器⁽⁵⁾

周知のごとくA級で動作する三極管 (Fig. 3 の T_2 管) の陽極電流 I_{p2} は E_{g2} の変化に対して直線的に変化する

Fig. 3 Basic circuits for ion current measurement and logarithmic converter.

T_1 : Ion gauge tube

T_2 : Logarithmic converter tube

Fig. 4 Schematic diagram used to measure of grid current characteristic.

る。そして T_1 は電離真空計で、その I_i は真空度 P のみの函数であるごとく調整してあれば I_i は T_2 管のグリッド電流 I_{g2} となり、 T_2 管のグリッド電位 $-E_{g2}$ は I_{g2} によつて定まる。しかも $-E_{g2}$ と I_{g2} (即ち I_i) との間には対数的関係が存在するから三極管 T_2 の I_{p2} と I_{g2} との間には E_{g2} をなかだちとして対数的関係が成立つ。さらに三極管 T_2 の出力電圧 $I_{p2} R_{p2}$ の変化を次段の平衡回路に入れ検出すれば T_1 管内の圧力 P を知ることができる。

Fig. 5 Relation between grid and plate currents. Where various leakage resistances are inserted between grid and cathode.

$I_f = 0.28A$, $R_L = 150K\Omega$

(A) $R_g = \infty$, (B) $R_g = 10M\Omega$, (C) $R_g = 5M\Omega$, (D) $R_g = 2M\Omega$

Fig. 6 Effect of logarithmic characteristic, when the heater current of 12AT7 is changed

(A) $I_f = 0.32A$ $E_p = 29V$ $R_L = 100K\Omega$ $R_g = 4M\Omega$ (A') $I_f = 0.28A$ $E_p = 29.5V$ $R_L = 100K\Omega$ $R_g = 4M\Omega$
 (B) $I_f = 0.28A$ $E_p = 23.5V$ $R_L = 150K\Omega$ $R_g = 4M\Omega$ (B') $I_f = 0.2A$ $E_p = 25V$ $R_L = 150K\Omega$ $R_g = 4M\Omega$

3. 実験装置

真空度により変化するイオン電流を三極管の格子電流として Fig. 3 に示すように実際に電離真空計を使つて与えてやるかわりに、Fig. 4 の如く三極管の格子に直列に可変抵抗を挿入したことにより代用させる。しかもグリッド電流 I_g は校正を施した検流計で測定し、その値は可変抵抗により制御した。

なお回路は A 級で働くようにしてあるのでプレート電流 I_p の変化はグリッド電圧 E_g の変化に直線的に比例する。また格子陰極間の電圧 E_g はその内部抵抗 r_g が相当大的な値であるから電圧計を挿入せずにプレート電流 I_p を読むことにより測定した。したがって I_g 対 E_g 特性は I_g 対 I_p 特性として表してある。また、商用交流電源ならびに人体からの誘導ハムを除くため格子回路にはシールドを施し、測定器、抵抗類はガラス板上に設置して漏洩を防止

Fig. 7 Explicative curves of grid current, when grid leaks are changed.

した。さらにヒーター電圧およびB電圧は常に一定値を保つようにした。

4. 実験結果

4-1 最初ミニアチュア型双三極管12AT7の I_g 対 E_g (ここではプレート電流 I_p で表わしている)間の対数的関係を調べた結果、Fig. 5 (A)の如くで対数関係の成立する I_g の下限は $0.5\mu A$ までとなった。つぎにFig. 4のG K間に $10M\Omega$, $5M\Omega$, $2M\Omega$ の抵抗を挿入してG, K間の内部抵抗を制御した結果は Fig. 5 (B), (C), (D)の如くで、 $5M\Omega$ を並列に挿入した(C)の場合の I_g は $0.05\mu A$ まで I_p と対数的関係を保つことができた。

4-2 $I_g \sim I_p$ 特性のヒーター電流による影響はFig. 6の如くでヒーター温度を上昇させると対数関係が多少延伸されることが認められた。

5. 考察

Fig. 7 は三極管の E_g 対 I_g 特性を示すがその中で曲線(1)は完全なる初速度電流による成分で、前述の(2)式を満足する。(2)は管内の残留ガスならびに各電極から放出されたガス分子がイオン化されて生ずる成分である。(3)はグリッドと他電極間の漏洩電流による成分を示し、(6)は実際の合成グリッド電流で a, b の範囲だけが対数関係を示す。(ただし Fig. 2 (4), (5) は極めて小さいもの

と仮定し、ここには省略してある。)さらにグリッド電流の小さい範囲 b, c の範囲に入れば E_g は急激に負方向に大きくなり、 r_g の急激な増大を来して対数関係を破る。このような r_g の急激な増大を防ぐため格子～陰極間に並列に漏洩抵抗 R_g を挿入すれば特性曲線は(B), (C), (D)のごとく立つてきて多少(1)曲線に近い傾斜となる。すなわち Fig. 5 (A), (B), (C), (D) 曲線はこの間の消息を示す。また Fig. 7 の(A), (B), (C), (D)は Fig. 5 のそれに対応した記号である。(E)曲線は(1)を平行移動したもので図のごとく(A), (B), (C)となるにつれ、これに沿う部分が I_{g1} , I_{g2} , I_{g3} と延伸されて来ることを示す。そこで $5M\Omega$ にした場合に最良の状態がえられた。しかし r_g と R_g が並列に入るため E_g 対 I_g の純対数的関係が多少くずれることは止むをえない。つぎにヒーター温度による影響は Fig. 6 に示すごとくである。これによるとヒーター温度を上昇すると I_g 対 I_p の直線性が向上される。これは(2)式において T を増大すれば I_s が増大し $\frac{e}{kT}E_g$ は減少する。したがって初速度電流成分が増大する、一方グリッド逆電流成分はその割合には増大しないため Fig. 7 における a, b の範囲が拡大されるものと考えられる。また同一 I_g における I_p は陰極温度を上げた方が大きくなっているのは陰極活性率 (Cathode activity)⁽⁶⁾ の影響であろう。

6. 結 言

以上の実験からミニアチュア管 12AT7 は I_g の下限が $0.5\mu A$ 程度まで、格子電圧対格子電流の対数的関係を満足することを知った。さらにその内部抵抗 r_g に適応した並列抵抗 $R_g=5M\Omega$ を挿入すれば I_g が $50\sim 0.05$

μA の範囲にわたり対数関係を保持しうることがわかった。これで真空度で $10^{-3}\sim 10^{-6}mmHg$ まではスケールの切換えなしに直読できる。さらに管種にしたがつて R_g の最適値があることを示す。つぎに 12AT7 のヒーター温度を上げて対数性を多少延伸させることができる。また、雑音、電源電圧の変動等ドリフトする要因を取除き直流増巾器としての特性を向上させうる。将来は高信頼管を使用しイオンゲージの感度を上げることにより、上記以上の測定範囲を満足しうるものと思われる。

終りに本文に対して種々御討論を頂いた東京大学富永五郎助教授に対し厚く御礼申し上げると共に、日頃色々とご指導を頂いた武蔵工業大学教授中村新太郎博士、ならびに徳田製作所技術部長中村一男氏、野口義孝氏に対し厚く感謝致します。又、武蔵工業大学卒業生、菅原重君の実験的協力を多と致します。

参 考 文 献

- (1) P, Hariharan, M. S. Bhalla : Simplified Ionization Gauge circuit with Logarithmic Pressure Scale. Rev. Sci. Inst. Vol. 27, No 7, July(1956)
- (2) Karl R. Spangenberg : Vacuum Tubes. Mc. Graw-Hill Book Co.
- (3) 石原平典、滝本進：電位計管・NEC NO 37
- (4) 星合正治、共著：電子とその作用 オーム社
島村道彦、
- (5) 富永五郎、岡田繁：対数増幅器・真空工業 1957 年 7 月, 8 月, 12 月号
- (6) 中村新太郎著：解説実用電子管 電子工学会