電離真空計の電子電流安定化回路ならびに フィラメント保護回路*

長 井 一 敏**

(昭和45年2月13日受理)

An Electron Emission Regulator and a Filament Protector for an Ionization Gauge

Kazutoshi NAGAI

(The Institute of Physical and Chemical Research, Yamatomachi, Saitama, JAPAN)

(Received Feb. 13. 1970)

A transistorized electron emission regulator and a transistorized filament protector for an ionization gauge have been studied. This electron emission regulator having a current path from filament of the ionization gauge to ground through base-emitter junction of a transistor, electron emission current of the gauge modulates the collector current of the transistor, and this modulated collector current regulates the heating current for the gauge filament. On the other hand, this filament protector is a type to detect voltage increase across the filament when vacuum pressure increases. These circuits are small sized, of light weight and inexpensive, and moreover are seldom out of order because they are very simple.

1. 序

電離真空計や電子顕微鏡の電子銃,あるいは質量分析計の電子衝撃型イオン源等,およそ真空中で電子流を扱う装置では,電子電流の安定化を計ること,真空度の低下に起因するフィラメントの消耗を防ぎ保護することは,ともに重要な要素であって,種々の方式の回路が考案されている。

電子電流の安定化には,真空管を使用した Ridenour-Lampson の回路¹⁾が有名であり,さらに簡単な回路²⁾も発表されているが,最近ではトランジスターを用いた安定化回路が多く使われている³⁾。またフィラメントの保護回路としては,従来,真空度の低下にともなうイオン電流の増加を検知して,フィラメントが酸化消耗するのを防ぐ方法がとられてきたが,新しい試みとしてフィラメント加熱電流の増加を検知する方法⁴⁾が提案されている。

筆者も電離真空計に使用すべく,トランジスターを用いた電子電流安定化回路⁵⁾と,フィラメント加熱電圧の上昇を検知する方式のフィラメント保護回路を試作したので,以下,その特性について述べる。なお,これらの回路の製作目的は,構成が単純で故障が少く,小型軽量で動作範囲の広い回路を試作することであった。

2. 電子電流安定化回路

2.1 安定化回路 I

Fig. 1 は試作した電子電流安定化回路の基本的な回路である。安定化すべき電子電流 I_b は電離真空計の集電子電極(グリッド)からフィラメントに流れ込み,図に示した径路でトランジスター T_1 のベースを通過してアースに落ちる。これにより,トランジスター T_1 には $\beta_1 \cdot I_b$ のコレクター電流が流れ抵抗 r_2 の両端に $\beta_1 \cdot I_b \cdot r_2$ なる電位差を生ずる。電源 P_1 は交流 50Hz を全波整流したもので,その出力電圧 E_0 と抵抗 r_2 の両端電圧 $\beta_1 \cdot I_b \cdot r_2$ の差 $(E_0 - \beta_1 \cdot I_b \cdot r_2)$ でトランジスター T_2 , T_2 を駆動して電離真空計のフィラメント加熱電流 I_e を制御している。いま何らかの原因で I_b が増加(あるいは減少)すると, $(E_0 - \beta_1 \cdot I_b \cdot r_2)$ の値が減少(あるいは増加)し,そのために I_e が押えられて I_b を元の値に引戻し安定化を計かるわけである。なお,集イオン電極(プレート)に与えるバイアス電圧(約 -25V)にはトランジスター T_1 のベース回路に抵抗 R を挿入し I_b によって生ずる電位差 $R \cdot I_b$ を用いている。

電子電流 I_b とフィラメント加熱電流 I_e との関係を各トランジスターのエミッター接地電流増巾率 β_1 , β_2 , β_3 を用いて書き表わせば,

* 昭和44年11月25日 第10回真空に関する連合講演会で一部分講演

** 理化学研究所

Fig. 1 Fundamental circuit of regulator I. P_1 is a single-phase full-wave rectified power supply.

Fig. 2 Filament current I_c vs. electron current I_b characteristics for the regulator (according to the equation (1)). (a) With r_1 as a parameter. (b) With r_2 as a parameter.

$$I_c = \frac{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3}{1 + \frac{r_1}{r_2}} \left(\frac{E_0}{r_2 \beta_1} - I_b \right) \quad \dots \quad (1)$$

となり、 I_b の変動に対する回路の感度は、 $\Delta I_c / \Delta I_b = -\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 / (1 + r_1/r_2)$ で与えられる。 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ が各トランジスタのコレクタ電流の大きさに関係なく一定ならば(1)式は Fig. 2(a), (b) に示すような直線となる。 r_2 を固定し r_1 をパラメータとして変化させれば(a)図となり、 r_1 を固定して r_2 をパラメータとすれば(b)図のようになる。したがって r_1, r_2 のどちらか一方を調節することによって I_b の値を任意に設定することができる。しかし同時に感度 $\Delta I_c / \Delta I_b$ も変化してしまうのが、この方式の一つの欠点でもある。一般に $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ はコレクタ電流の関数であって一定ではないから、後で述べるように I_b と I_c の関係は直線とはならないが、回路定数を決めるための目安として(1)式を利用することができる。

Fig. 3 (a) Practical circuit of regulator I. (b) An example of its dynamics.

回路定数に適当な値を入れた具体的な回路を Fig. 3 (a) に示し、この安定化回路の動作例を (b) に示した。電離真空計は少々古いタイプのもので、VG-51 ($E_0 = 150V$, $E_c = -25V$, $S = 10$) を使用し、抵抗 r_1 を調節して電子電流を 1mA に設定した。(b) 図の示すように、安定化しない場合の電子電流の変動は 0.5mA におよぶが、安定化することによって、10 μA 以下におさえうことがわかる。

2.2 誤差

Fig. 1 ないしは Fig. 3(a) に示した安定化回路 I では、電子電流 I_b をフィラメントの一方の端から取出しているために、フィラメントの中心の電位が電源電圧の脈動に従って変動しているはずである。Fig. 3(a) の回路で、真空度 1×10^{-6} Torr 程度するとき、フィラメント中心の電位変動を実測すると約 3.5V (p-p) であった。これは、相対的にグリッドの電位が 3.5V 程度ゆらいでいることに相当し、真空度の指示に誤差の入ることが考えられる。その誤差の大きさを見積るために、グリッド電位の変動に起因するイオン電流の変動の様子を調べたのが Fig. 4(a) である。(b) はその測定回路である。つまり、電離真空計 VG-51 では、グリッド電位 E_0 を 150V を中

Fig. 4 (a) Electron collector voltage E_g vs. ion current I_+ characteristics for ionization gauge VG-51. (b) Measuring circuit for this characteristics.

心に $\pm 5\%$ 変化すると、イオン電流 I_+ はほぼ直線的に $\pm 4.2\%$ 変化することがわかった。先に述べたように実測によると、 E_g の変動は約 $3.5V$ であるから、これを I_+ の変動に換算すると約 2% になる。つまり、Fig. 3(a) の回路では真空度の指示に 2% 程度の誤差が入ることになる。しかし電離真空計の感度のバラツキ、あるいは真空度指示用メーターの許容誤差等を考慮すれば、電離真空計を通常の使用法で使っているかぎり、この 2% という誤差は真空度測定上それほど大きな障害にはならないと思われるから、Fig. 3(a) の回路は充分、実用になるものと考えられる。なお、ここに述べた誤差の見積りは VG-51 に関するものであるが、他の電離真空計を使用した場合でも似たような事情であろうと想像される。

2.3 安定化回路 II

前述の回路では、電子電流をフィラメントの一端から取出したために、僅少とはいえ、真空度の指示に誤差の入ることがわかった。その誤差を除くために、フィラメントの midpoint から電子電流を取出すように改良したものの基本的な回路を Fig. 5 に示した。この回路は全波整流された電源 P_1 の他に、 $50Hz$ 交流電源 P_2 を備えた二電源方式である。電子電流は、並列抵抗によってフィラメントの midpoint から取出され、変調器に送られて電源 P_2 の $50Hz$ 交流を振巾変調する。被変調波は変成器 τ_1 を介してトランジスタ T_1, T_2, T_3 より成る制御回路に戻され

Fig. 5 Fundamental circuit of regulator II. P_1 is a single = Phase full-wave rectified power supply, and P_2 is a single-phase A-C power supply.

D_0 : 1S184 D_1 : SH-1 T_0, T_1 : 2SC142
 T_2 : 2SB462 T_3 : 2SC520A

(a)

(b)

Fig. 6 (a) Practical circuit of regulator II. (b) An example of its dynamics.

てフィラメント加熱電流を制御する。変成器 τ_1 の巻線比を $1:n$ とすれば電子電流 I_0 とフィラメント加熱

電流 I_c の関係は

$$I_c = \frac{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3}{1 + \frac{r_1}{r_2}} \cdot \frac{\beta_0}{n} \left(\frac{E_0}{r_2 \cdot \beta_1} \cdot \frac{n}{B_0} - I_b \right) \dots (2)$$

で与えられるが、2.1項の場合と同じ理由で I_b と I_c の関係は直線とはならない。(2)式は回路定数を定めるときを目安を与えるにとどまる。

Fig. 6(a) にこの方式による具体的な回路を、また (b) に真空度 1×10^{-5} Torr の動作例を示した。 I_b の設定は r_1 を調節しておこなう。使用した電離真空計は前項と同じく VG-51 である。安定化しないときの電子電流の変動は 0.5mA に達するが Fig. 6(a) の回路を挿入することによって $10 \mu A$ 以下におさえられ、安定化の実が上っていることがわかる。

2.4 動作範囲

試作した安定化回路の I_b — I_c 特性を調べればその動作範囲を知ることができる。電子電流 I_b とフィラメント加熱電流 I_c の関係は(1)式 (安定化回路 I の場合)あるいは(2)式 (安定化回路 II の場合)で表わせることは 2.1項で述べたが、一般にトランジスタのエミッター接地電流増巾率 β が一定でなく、コレクター電流の関数であるために、 I_b — I_c 特性は直線とはならない。実測によると Fig. 7(a) に示したような曲線を描き、 I_b の値の大きなところで I_c が飽和する傾向が見られるが、安定化回路の動作範囲はかなり広いと言える。(b-1) (b-2) はその測定用回路で電離真空計のフィラメントの代りに整流管 5Z3 のフィラメントを使用していることと、 I_b を供給するために補助の電源 P_r を用いていることが、実際の場合と異っている。(b-1) は安定化回路 I に対応し (b-2) は安定化回路 II に対応している。

3. フィラメント保護回路

電離真空計を低真空で使用すると酸化や多量のイオン衝撃のためにフィラメントの消耗が激しく寿命が短くなるから、真空装置の操作中に何らかの原因で真空度が悪くなった場合には、それを検知して、フィラメントの加熱電流を遮断する、いわゆるフィラメント保護回路が必要である。

Fig. 8 は試作したフィラメント保護回路 (図中の一点鎖線で囲んだ部分) を Fig. 3(a) の電子電流安定化回路 I と組合わせたものであって、次のような動作順序でフィラメントを保護する。つまり、真空度が低下してフィラメントの表面温度が下がると電子電流が減少しようとするが、電子電流安定化回路の安定化作用で、その減少を補なうべくフィラメントの両端電圧が増加する。その

Fig. 7 (a) Dynamic range of these regulators. (b-1) Measuring circuit corresponding to regulator I. (b-2) Measuring circuit corresponding to regulator II. In both circuits, the filament of 5Z3 is used instead of the filament of VG-51.

Fig. 8 Filament protector combined with regulator I.

Fig. 9 More simplified circuit than regulator II. Both P_1 and P_2 are single-phase full-wave rectified power supplies. In the primary coil of transformer τ_2 , D-C current overlaps on A-C signals.

増加分をトランジスタ T_4 で検知して、リレーを駆動させてフィラメント加熱電流を遮断し、フィラメントを保護する。リレーは不可逆的に動作するように結線しているから、その後真空度が良くなっても、電離真空計は再びセットしなおすまで回復しないようになっている。電離真空計を動作させている状態では、図中 T_4 のベースの電圧 V_0 は、フィラメント加熱電圧 V_f と同程度か、やや大きくしておく必要がある。 $(V_0 - V_f)$ の値の大きさ次第で保護回路の動作感度が定まる。なおフィラメント両端の電圧増加分の検知には、トランジスタ T_4 の代りに適当な SCR を用いることもできる。

4. むすび

試作した回路についてその特徴などを列記すれば次のようになる。

(1) 安定化回路 I は、回路の構成素子の数も少く、したがって故障も少ないと思われるが、真空度の指示に 2% 程度の誤差が入る。しかしこの程度の誤差は真空度測定上さしたる障害とはならないと考えられる。

(2) 安定化回路 II は、回路 I の場合のような誤差は入らないが、二種類の電源のほか変成器も必要であって、構成がかなり複雑である。Fig. 9 は安定化回路 II の変形であって、二個の全波整流電源 (P_1, P_2) と変成器 τ_2 が必要であるが、トランジスタ、ダイオードなどはかなり少くなって簡素化されている。しかしこの回路では、変成器 τ_2 に直流分が重畳しているため、それによる磁界の飽和まで考慮して変成器を選ぶ必要がある。

(3) 安定化回路 I および II はともに電源 P_1, P_2 のトランスの線輪を、イオン電流測定用の増巾部の電源トランスと同一コアに捲くことができるから、セット全体が軽量となる。

(4) 安定化回路 I および II はともに抵抗 r_1 あるいは r_2 を調節することによって I_b を任意の値に設定することができるが、同時に回路の感度 $\Delta I_e / \Delta I_b$ が変化してしまうのが欠点である。しかし実際にこの回路を使用すると、この欠点は少しも邪魔にならない。

(5) 安定化回路 I および II の動作範囲は、Ridenour—Lampson の回路のそれ⁶⁾に較べてかなり広いと言える。

(6) フィラメント保護回路は、従来の方式ではイオン電流増巾器の後にシュミット回路をつけるために、イオン電流の測定に好ましくない影響を与えることも心配されるが、試作したこの回路ではその心配はない。

(7) 安定化回路 I とフィラメント保護回路の組合せ (Fig. 8) は、構成の単純さ、小型軽量および広動作範囲という所定の要求をほぼ満しているものと見られる。

この実験をおこなうにあたり、数多くの重要な示唆を与えてくださった、現化学研究所大沼勇氏に心より感謝いたします。

〔文 献〕

- (1) Ridenour, L. N. and Lampson, C. W. : Rev. Sci. Instrum. 8 (1937) 162.
- (2) King, A. H. : J. Sci. Instrum. 23 (1946) 85
- (3) 中山勝矢 : 真空 8[4] (1965) 122.
- (4) 近藤敏郎 : 実用新案出願公告 昭43—28636
- (5) 長井一敏 : 日本真空協会 第10回真空に関する連合講演会で講演 (1969).
- (6) Steckelmacher, W. and Van der Meer, S. : J. Sci. Instrum. 27 (1950) 189.