電試質量分析計のイオン源電源

Power Supply for Ion Source of Mass Spectrometer
in Electrotechnical Laboratory

前 田 浩 五 郎*・川 嶋 孝**

KOGORO MAEDA and TAKASHI KAWASHIMA

(1962年3月10日受理)

This paper describes the design and the construction of power supply for the ion source of a mass spectrometer in Electrotechnical Laboratory. The power supply consists of following four parts: d.c. high voltage source for ion focusing and acceleration (0.3 - 10 KV), stabilizing and accelerating circuits for bombarding electron (0 - 150 V), controlling and measuring system of ion source temperature (150°C - 300°C), and exciting supply for ion source magnet (0 - 2 A). Several special designs are adopted for above four parts so as to keep the stabilities of the order of 10^{-4} — 10^{-5} which is enough for the ion source of mass spectrometer. Tests on these supplies showed that long time stability of 10^{-4} /hr and ripple voltage of 20 mV were obtained as for the high voltage supply over the range of 1 - 10 KV. Some results of the tests on other parts were described.

1. ま え が き

質量分析計のイオン源電源についてはすでに多くの回路が発表され、本誌にもその試作例が種々報告されているが、イオン加速電圧としては 5,000V 以下を採用しているものが多い。最近、江副等は Pepinsky と Jarmotz の回路¹⁾ にもとづいて、5,000V までの直流高圧安定化電源を試作し発表しているが、長時間安定度等についてきわめて興味ある結果が得られたことが報告されている²⁾。

われわれは電試質量分析計のイオン源電源として、同様に Pepinsky と Jarmotz の回路にもとづいて、先般来10KV までの高圧安定化電源を設計、試作してきたが、最近ようやく所期の結果を得ることができた。本報においてはそれらについて記述するが、さらにイオン源電源として次の各部についても同様に試作を行ったのであわせて報告する。

- 1) 衝撃用電子流安定化電源
- 2) イオン源内電極電圧源
- 3) イオン源温度測定用回路
- 4) イオン源補助電磁石用電源

* 電気試験所 (東京都北多摩郡田無町)
Electrotechnical Laboratory (Tanashi-machi,
Kitatama-gun, Tokyo)

** 株式会社応用電気研究所 (東京都練馬区関町)
Applied Electric Laboratory Co. Ltd (Seki-machi,
Nerima-ku, Tokyo)

これらは4)を除いては Fig. 1. に示す如き高電圧による電撃防止に留意した筐体に納められている。筐体の前面の扉を開いた様子を Fig. 2 に示す。

Fig. 1. Voltage supply for ion source of ETL mass spectrometer.

Fig. 2. Inner cabinet of ion source voltage supply.

2. 10KV 高電圧安定化電源

出力電圧が5,000V 以上の高圧でしかも 10^{-4} 程度の安定度を望む場合には、直結型直流増巾回路を用いた負帰還の方式はドリフトの問題のほか直流的に電位を合わせることが困難になり、とくに質量分析計のイオン加速用電源のように電圧が高く広範囲の電圧の可変が要求される場合には別に新しい方式が必要になってくる。これに対しては Pepinsky と Jarmotz により案出された方式が比較的良好に適用し得ると思われる。この方式の特徴は、高抵抗によって電圧変動を検出し増巾する点は従来の方式と同様であるが、この出力で高周波電圧の振巾変調をおこない耐圧トランスを通し直列管を制御して出力高電圧を安定化させる点にある。この方式の長所と思われる点には次の諸点があげられよう。

- (1) 結合トランス方式を採用しているので相当高電圧まで実用できる。
- (2) 従来の方式と変らない高安定度が得られる。
- (3) 出力電圧の極性に関係なく適用できる。
- (4) 従来の直結型の直流増巾回路による制御法と異なり、制御電圧がそのまま直列制御管の入力信号となる利点がある。

われわれはこれらの利点をもつ Pepinsky と Jarmotz の回路をイオン加速用電源を組み立てるにさいしての基本回路として採用し、それに若干の改良を加えて試作した。

定電圧装置を組立てるに当って問題となる点は電源

変動、負荷変動、温度変化等により生ずる出力電圧の長時間変動、さらにはリップル含有量であるが、これらの変動に対して出力電圧を安定化するに要する回路のループ利得 A は近似的に次の如く与えられる³⁾。

$$(\Delta V_0/V_0) / (\Delta D_0/D_0) = \gamma \quad (1)$$

$$A \approx 1/\gamma \quad (2)$$

ここで、

D_0 : 出力電圧に対する定常値 (電源電圧および負荷)

ΔD_0 : D_0 に重畳される外乱

V_0 : 出力電圧

ΔV_0 : 出力電圧の変化分

したがって、この式から出力電圧に必要な安定度と予想される外乱の程度がわかれば制御回路としての必要なループ利得が算出される。例えば、 $\Delta D_0/D_0 = \pm 10\%$ の外乱に対して $\Delta V_0/V_0 = 1 \times 10^{-4}$ 以下に保つためには、上式から簡単にループ利得として 2×10^3 以上あればよいことがわかる。出力電圧の変化を検出する場合に、基準電圧は余り高くしないのが一般であるが、いま基準電圧を 50V とすると出力電圧 10KV に対してはここでの減衰量は約 1/200 となる。したがって、増巾回路としては前記のループ利得を 200 倍して約 4×10^5 程度の利得が必要となる。若干の余裕を考慮して増巾回路の利得が約 120 db あれば外乱により所定値に $\pm 10\%$ 変化があっても出力電圧は 1×10^{-4} 以内におさめ得ると期待できる。さらに、この増巾回路は検出部において要求する安定度に相当する電圧を区別出来る程度の雑音、ドリフトの少ないものでなければならない。また出力電圧が 1 KV またはそれ以下の場合も考えると、増巾回路のドリフトと雑音を少なくとも $100 \mu V$ 以下におさえなければいけない。この値は直結型増巾器ではその B 電圧、またはヒーター電圧を相当安定化しても実現が困難な値である。したがって、ここではこの定常特性向上のためにチョッパー増巾器を使用している。またリップルおよび速い変動の安定化のために交流増巾器を併用した。

今回の試作において目標の仕様は、

出力電圧: 300V~10KV 連続可変

負 荷: 3mA

安 定 度: 全域にわたり一次電源電圧変動 $\pm 5\%$ に対して 1×10^{-4} 以上

ドリフト: 1×10^{-4} /hr 以内

リップル: 2×10^{-5} 以内

である。

この仕様にもとづき前記の諸点を考慮して設計、製作したイオン加速用電源は Fig. 3 に示す如き回路のもので、実際の状況は Fig. 4 に見られる如きものでこれを筐体の下部に納めるようにした。(Figs. 1, 2 参

Fig. 3. Circuit diagram of high voltage power supply.

Fig. 4. High voltage supply for ion source.

照) 出力電圧の変動を検出する部分の抵抗体には温度係数が $2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 程度のアドバンス線を使用し、無導捲きにした $2\text{M}\Omega$ のものを10個使用した。

検出された電圧の変動分はいわゆる継合せ方式^{4), 5)}

によって増巾したが、このさい脈動電圧および過渡特性変動の交流分は $0.05\mu\text{F}$ の高耐電圧のコンデンサーを通して高圧の出力端子から直接に交流増巾回路の入力端子に導くようにした。直流分については前述の捲線抵抗を使用し、分割電圧を水銀電池2個 ($2 \times 23.5\text{V}$) による基準電圧とポテンシオメーター方式により比較し、その差をチョッパーにて交流変換し増巾した。このさい比較基準電圧を0から最大値まで変化させて出力高電圧を大中に変えられるようにした。増巾された変動分は直流増巾部については復調されたのち、交流分についてと同様に振巾変調器に結合される。

発振周波数は普通は数 MC の程度がえらばれるが、今回は 1.16MC とした。

高周波のトランスはその必要な絶縁性を考慮して Fig. 5 の如くエポナイトの棒を加工し、外側に二次線を巻き、中はくりぬきとしその中に一次線を捲いたボビンをさし込むようにした。この方式は一次・二次の結合度を落さず、しかも浴面距離および貫通耐圧を充分にとれる利点がある。

出力高電圧は前述のごとく規準電圧を変えて連続的に変化させるようにしたが、可変範囲が 300V から 10KV の広範囲なので、この広範囲にわたって電圧制御管 $2\text{C}53$ が正常に動作し得るよう昇圧トランスの一次側にスライダックを入れ、さらに発振回路に制御メーター M を入れて回路を正しく働かせるようにした。

イオン流収斂用の分割電極に印加する電圧は普通の方式にならってイオン加速用電圧を抵抗で分割してとるようにした。分割用の抵抗体に無誘導巻きの $1\text{ M}\Omega$

Fig. 5. R. F. Transformer.

方式を採用したが、これはいずれ取りかえるようにしたい。

以上高圧安定化電源についてその製作の実際をのべたが、これにより得られた結果は目標とした仕様をほぼ満足しており、現在のところ出力電圧は 0V 近くか

ら10KV まで連続可変が可能で、得られた安定度は一次電源電圧変動 $\pm 5\%$ に対して $3 \sim 5 \times 10^{-5}$ 程度である。ドリフトは検出抵抗について特に温度保持を考慮しなかったので $0.5 \sim 1 \times 10^{-4}/\text{hr}$ の程度に止った。リップルは出力電圧 5KV 付近で 20mV(p-p) におさえることができた。これらの結果は質量分析計のイオン源のイオン加速用電源として充分のものと思われる。

3. 衝撃電子流安定化電源およびイオン源内電極電圧源

今回組立てたこれらの電源の回路を Fig. 6, Fig. 7 に示す。各電極への印加電圧範囲およびその安定度についての仕様は下記の如くである。

電子流グリッド：0～-100V

サブレッサ- : +30 ~ -50V

トラップ: $0 \sim +30\text{V}$

リ ペ ラ - : 0 ~ + 50V

各電圧の安定度： 1×10^{-4} 以上

衝撃用電子流の加速電圧については 0V 近傍から +150V までとれるようにした。なお上記の各電圧値はイオン化室の電位を基準にしての値である。

Fig. 6 Electron current stabilizing circuit.

Fig. 7. Voltage supply for ion source electrodes.

回路の構成は全く普通的方式⁶⁾であるが、衝撃用電子流の制御およびフィラメントの加熱方式については若干の工夫を施した。すなわち前者については、スイッチの切換えによって全電子流あるいはトラップ電流いずれかによって任意に安定化し得るようにし、またフィラメント加熱電流は交直いずれをもえらべるようにした。

また衝撃用電子流の加速電圧については $15\text{K}\Omega$ のヘリカルオームに定電圧電源から 10mA の電流が流れるようにして $100\mu\text{A}$ の全電子流が流れてもその誤差を 1% 程度以内に止めるようにした。電圧値の指示メーターにはパネル型の 1.5 級を用いた。

得られた性能は質量分析計のイオン源各電極への電圧印加電源として十分に満足すべきもので、現在のところ測定の結果、各電圧の安定度はすべて 1×10^{-4} 以上となっており、所期の目的は達し得ている。

4. イオン源温度制御および測定用電源

イオン源の温度を $\pm 0.25^\circ\text{C}$ 程度に一定に保つ必要性についてはつとに指摘されて来たところであり^{8,9)}、この制御方式については CEC21-103 型の質量分析計における方式や¹⁰⁾中川等の方法¹¹⁾があるが、最近の ATLAS CH3/57 型では複雑な自動安定化をとりやめ低圧交流を加熱用ヒーターに流してしまっている例もあるので⁷⁾、本電源においてもこの方式を採用することにした。

イオン源の温度を普通よく行なわれるように 250°C

程度に保つことについてはいろいろ問題もあるが¹²⁾、しかしイオン源の汚れを少なくすると云う立場からはこの程度の温度は必要かも知れないので¹³⁾、本試作においてもこの付近の温度を設定温度とし、したがって測定範囲としては 150°C ないし 300°C をとることにした。

この温度測定には白金温度計を用いたブリッジによって不平衡電圧を測定して温度およびその変化分をよみとる方式を採用することにしたが、このさい指示部に必要な増中回路には測定装置全体を小型にする意味も兼ねてトランジスターによる直流増中方式¹⁴⁾を採用することにした。

試作した温度測定回路は Fig. 8 に示す如きものである。この式の回路においては周囲温度の変化にともなうトランジスタ増幅器のドリフトが問題になるので差動増幅方式とし、さらに出力回路よりの負帰還によって極力温度ドリフトがおこらぬようにした。これらの回路の動作用の電源については最初は水銀電池を予定したが、長時間の消耗を考慮して図の如きトランジスタによる安定化電源を使用することにした。さらにブリッジへの印加電圧についてはメーターMによって監視し得るようにし、常時正しく 1.5V 印加できるようにした。

測定温度はブリッジの一辺に挿入してあるヘリカル
オームによってよみとるわけであるが、その変化分
については内部抵抗約 $1\text{K}\Omega$ の $\pm 100\mu\text{A}$ 計(ミラー付85
E型)でフルスケール $\pm 5^\circ\text{C}$ まで読めるようになっ

Fig. 8. Controlling and measuring system of ion source temperature.

ている。本装置が示す増巾器ドリフトは $\pm 0.1^\circ\text{C/hr}$ の程度である。なお使用した白金抵抗線は 0°C で $100\ \Omega$ の $2\text{mm}\phi \times 25\text{mm}$ 硝子封じ込みのものである。

5. イオン源補助電磁石用電源

従来の電磁石電源は電子管制御によるものが多く、必要な安定度は割合容易に得られるが、いきおい比較的高圧低電流型の電磁石構造となり、絶縁などの点から低圧大電流型の電磁石にくらべ磁場発生の能率が悪く不経済となる。本試作においてはイオン源用電磁石として 350 gauss 得るのに 50V , 2A 必要のようにまき、電源としては全トランジスター方式を採用した。

目標とすべき電源の仕様は、安定度 $10^{-4} \sim 10^{-5}$, $0 \sim 350\text{ gauss}$ 連続可変である。今回設計、試作した回路を Fig. 9 に示す。

電磁石電流の変動は電磁石のコイルに直列に検出抵抗 $1\ \Omega$ を挿入して電圧変化に変えて検出しているが、この検出抵抗には第1種マンガン線を使用した。電流値の設定は前節 2 における高電圧の設定と同じ方式で、基準電圧として水銀電池 1.3V を2個直列にし、ヘリカルオームにてポテンシオメーター方式とし $0 \sim 2\text{A}$ まで連続可変なようにした。比較された直流電圧はチョッパー変換して交流増巾後、復調して制御用トランジスターに与えているが、リップル除去および過

渡特性向上のために別にトランジスター交流増巾回路を付加している。

制御用トランジスターは Darlington 結合とし、さらに I_{co} を極力へらすためにベース、エミッター間に逆バイアスを与え整流出力電圧 50V にても I_{co} は数 mA 以下におさえ、 $0 \sim 2\text{A}$ まで安全に連続可変なようにした。

試験の結果、得られた電流の安定度は一次電源電圧の $\pm 5\%$ の変動に対して 5×10^{-5} 程度で、リップル電圧は 10mV 以下、長時間変動は 1×10^{-4} の程度であった。

6. 高電圧に対する保護および防護対策

以上にのべた諸回路は補助電磁石用電源を除いてはすべて最高 10KV の高電圧上にのることになるので、回路をアースに対して充分絶縁し、漏洩やコロナによる安定化の乱れを防ぐ一方、各部の短絡事故に対し回路を保護するほか、電撃の危険を防止して操作者が安全に使用できるものでなければならない。これについては、筐体にドアスイッチを設ける、高圧フロート部を赤色塗装の内筒にまとめる (Fig. 2 参照)、高圧発生中は信号灯を点火する等の対策を施したが、さらに高圧発生中にも各種電圧の調整が行なえるよう各ツマミについて特殊な構造のものを使用し、操作に便利

Fig. 9. Exciting power for ion source magnet.

なようにした。

発生した、安定化された高電圧を安全にイオン源部のリードインシステムに接続出来るよう高耐電圧の特殊なコネクタを調整しそれを用いたが、さらにケーブルについても漏洩や誘導をさけるよう特殊のものをを用いた。

短絡その他による過負荷に対しては継電器が働いて一次電源が切れるようになっている (Fig. 3 参照)。これは Fig. 9 に示す如く、補助電磁石励磁用電源についても同様である。なおこの回路にはさらにツェナーダイオードを使用して 2SB205 の V_c が規格値をこさぬよう保護の役割をはたさせている。

このほか、本質量分析計の排気系には各種の監視保護装置がつけてあって¹⁵⁾、停電、断水のさいには高真空側が自動的に遮断されるが、同時にイオン源の電源も切れるように継電器回路を設けた。

1. む す び

以上電試質量分析計のイオン源の電源についてその設計、製作ならびに試験成績を報告した。

現在当所の質量分析計については性能向上のため、構成の各部全般にわたって改造を重ねているが^{15), 16)}、本イオン源電源もその一連の改造の一部であり、各部の改造の完了次第総合的な試験を行なう予定である。

したがって本装置のイオン源電源としての総合的な性能については、この試験の結果をまてあらためて報告することにした。

本装置を設計、製作するにあたっては当研究会の方々特に大村、鹿又、土屋、中川の諸氏および応用電気研究所落沢氏には終始御指導、御鞭撻を戴いた。また本報告を草するに当って、理研江副氏には懇切なる御指導を戴いた。本器に使用した白金抵抗体については応用電子工業株式会社の御厚意を戴いた。以上記して厚く感謝する次第である。

文 献

- 1) R. Pepinsky and P. Jarmotz, *Rev. Sci. Instr.*, **19**, 247 (1948).
- 2) 江副博彦・林友直, 質量分析, **9**, 14 (1961).
- 3) 例えば, 宮本慶己・笠井湧二, 電試彙報, **15**, 279 (1951).
- 4) E. A. Goldberg, *Radio. Cop. Am. Rev.*, **11**, 296 (1950).
- 5) D. A. Robinson, *Electronics*, **29**, 182 (1956).
- 6) いわゆる Nier の方法である。A.O. Nier, *Rev. Sci. Instr.*, **18**, 398 (1947).
- 7) これについては例えば丸山, 質量分析, No. 14, 91 (1960). の報告を参考にした。
- 8) R. M. Reese et al., *Phys. Rev.*, **78**, 332

- (1950).
- 9) 岡本潤一他, 質量分析, No. 11, 58 (1958).
- 10) 江副博彦, 質量分析, No. 2, 21 (1954).
- 11) 中川喜策・桂木久雄, 質量分析, No. 10, 23 (1958).
- 12) D. P. Stevenson, *J. Chem. Phys.*, **17**, 101 (1949).
- 13) A. E. Ennos, *Brit. J. Appl. Phys.*, **4**, 1953 (1953).
- 14) D. M. Neale and F. Oakes, *Wireless World*, **62**, 529 (1956).
- 15) 前田浩五郎, 真空, **4**, 318 (1961).
- 16) 前田浩五郎, 電試彙報に投稿中.