

mAs 式 管 電 流 量 制 御 装 置

mAs Type Tube Current Dose Controller

山 根 巖*
Iwao Yamane

内 容 梗 概

近時X線管電流を数種の値に限定し、そのいずれかを選択することにより、管電圧を前示するいわゆる管電圧直読式の診察用X線装置が開発された。このような方式のX線装置において、管電流量が予定値に達した時期に自動的に管電流を遮断する mAs 制御装置の新方式のものを作成したので、その理論的根拠・構造および特長などについて概要を報告する。

1. 緒 言

X線写真の診断的価値を高くするためには、写真に適正なコントラストと適正な黒化度とを与えなければならない。写真のコントラストを決定する要素は放射するX線の線質であり、これはX線管の両極に印加する電圧（以下管電圧と呼ぶ）によって定められる。写真の黒化度は放射するX線の線質および線量によって左右される。したがって、X線撮影において黒化度を適正にするためには、（管電圧はコントラストを決定するために選択されているため）放射するX線の線量を適正に選択しなければならない。

線量はX線管を流れる電流（以下管電流と呼ぶ）と管電流を流す時間（以下撮影時間と呼ぶ）との積（以下管電流量または mAs と呼ぶ）によって定まるものである。したがって、一般には管電流と撮影時間とを別個に設定して所望の mAs を得る方式（以下タイマ方式と呼ぶ）が採用されている。しかし、タイマ方式によって管電流量を制御する場合には、管電流と撮影時間との両方に誤差を含むため、管電流量に相当大きい誤差を生じるおそれがある。したがって、管電流量の誤差をできるだけ小さくして、診断的価値の高いX線写真を得ることができるようになるため、管電流量に比例する信号電圧を得て管電流量を直接制御する方式（以下 mAs 方式と呼ぶ）を開発した⁽¹⁾。その後、管電流を数種の値に設定しそのいずれかを選択することにより、管電圧を前示することのできるいわゆる管電圧直読式X線装置が開発され、このような方式のX線装置に適合する管電流量制御装置（以下 mAs 制御装置と呼ぶ）を完成したので、ここにその概要を報告する。

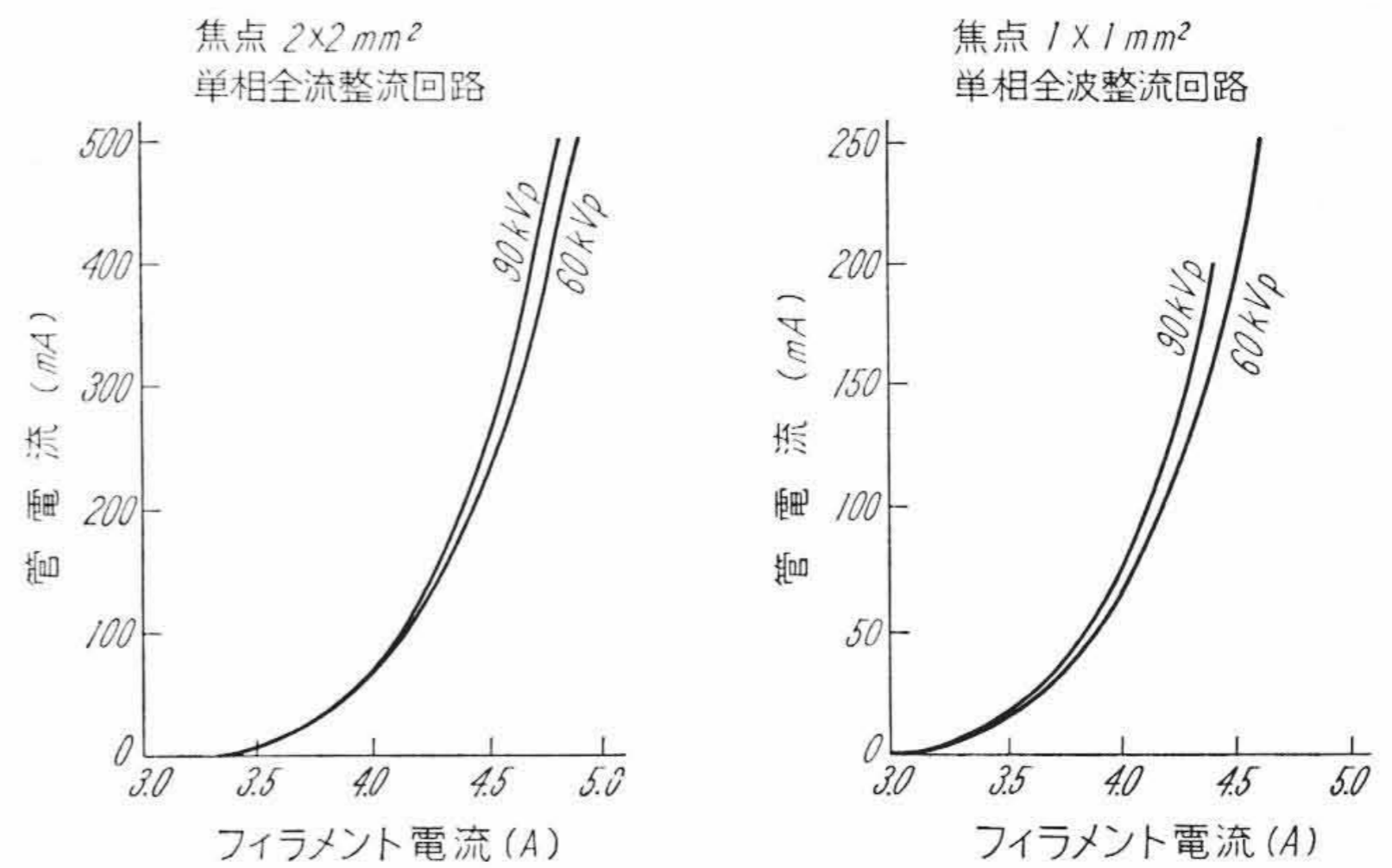
2. 基礎的諸問題

2.1 管電流の誤差

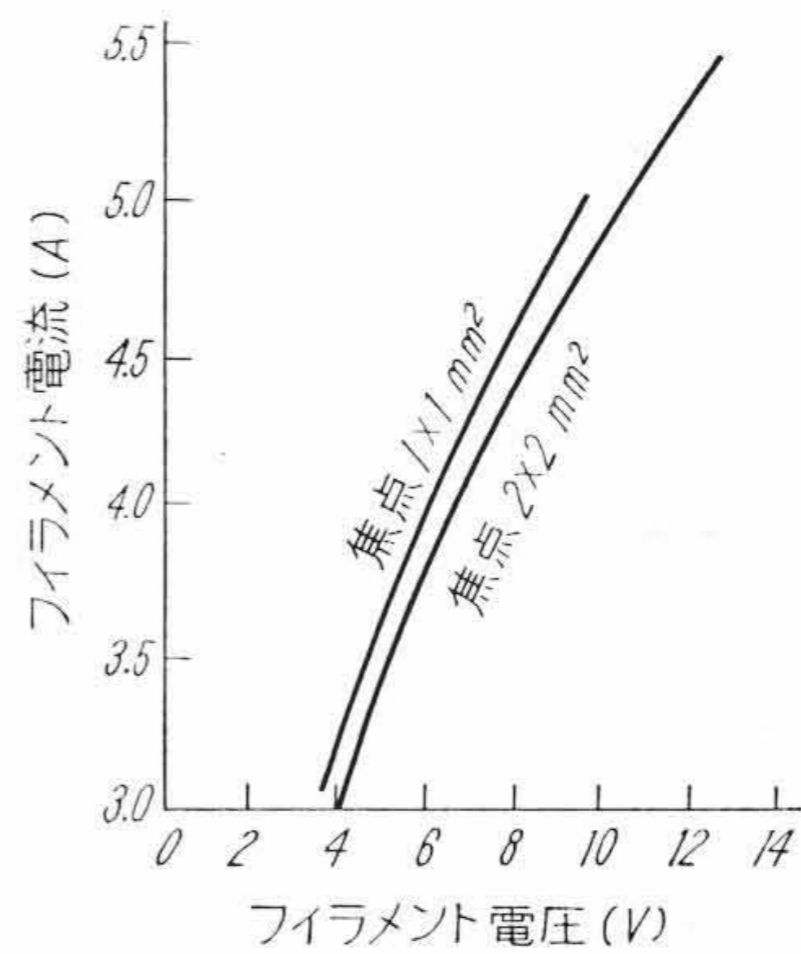
管電流はX線管のフィラメントの温度によって決定されるものであるため、一般にフィラメントを加熱する電流を加減することによって管電流を選択する方式が採用されている。フィラメント電流と管電流との関係は管電流特性と呼ばれる。第1図に日立回転陽極X線管ヒッターノード DOR-552 の管電流特性を示す。フィラメント電流を直接計器によって表示するためには、計器を高圧回路にそう入しなければならないため、一般にはフィラメント加熱変圧器の一次回路に供給する電圧によってフィラメント加熱電流を推定して管電流を調整する方式が採用されている。フィラメント電流とフィラメント電圧との関係はフィラメント特性と呼ばれる。第2図は第1図に示したX線管のフィラメント特性を示したものである。

このように、管電流の選択は間接的に行なわれるものであるため計器の誤差、製品の個々の特性変化、経年変化および温度変化などに起因する管電流の誤差は無視し得る程度に小さくすることはでき

* 日立製作所亀戸工場



第1図 管電流特性の一例



第2図 フィラメント特性の一例

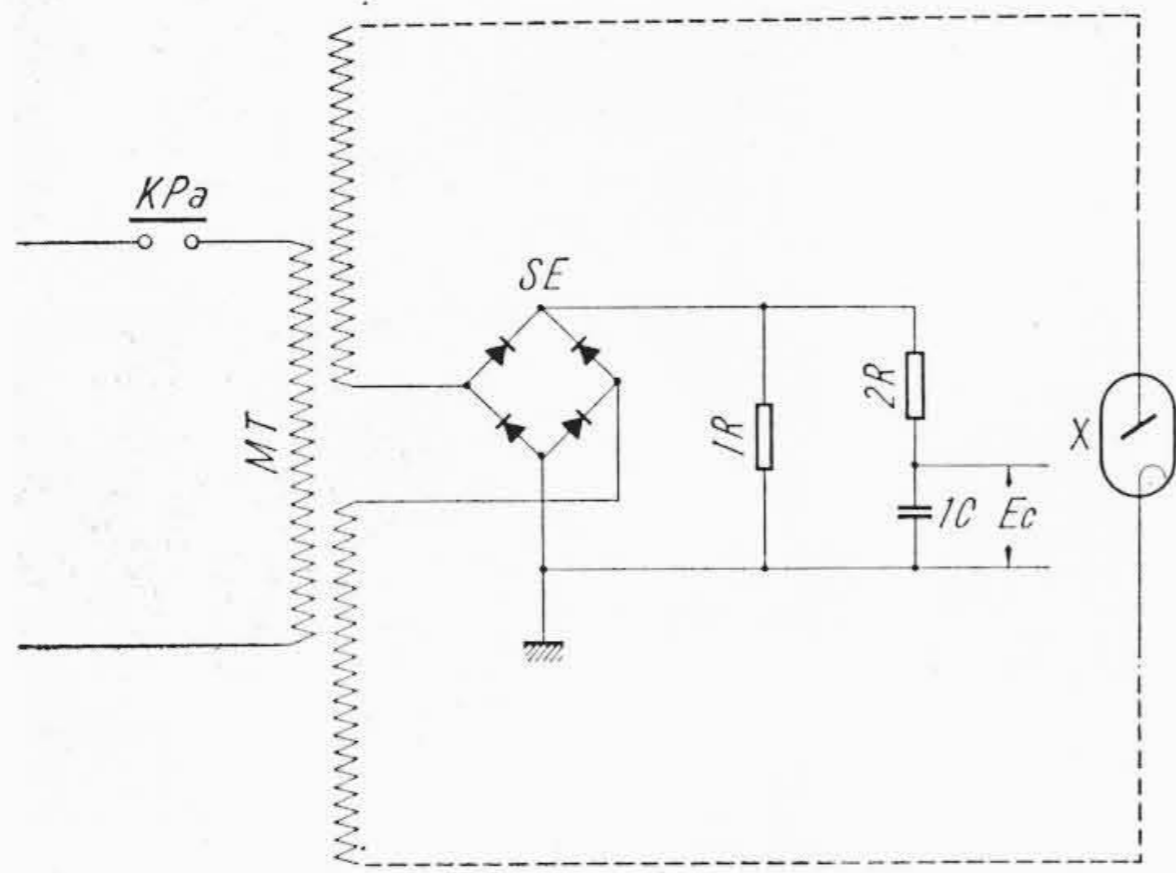
ない（JISでは管電流の許容差は±10%になっている）。したがって、管電流に誤差を生じて写真の黒化度に影響を与えないように、精度の高い管電流量制御方式が必要である。

2.2 原理的考察

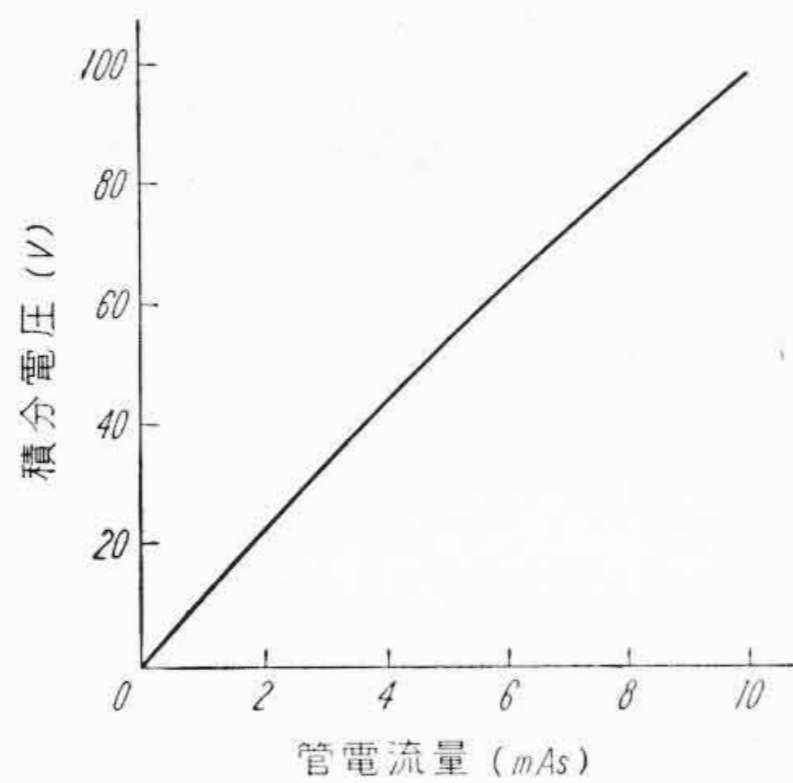
第3図はX線管を付勢する主変圧器MTの中性点において、管電流量に相当する積分電圧 E_c を得るための回路の原理を示したものである。すなわち、主変圧器MTの中性点に4個の整流器をブリッジ形にそう入し、管電流の大部分を抵抗 $1R$ （以下入力抵抗と呼ぶ）を通じて流し、一部を抵抗 $2R$ （以下積分抵抗と呼ぶ）を通じてコンデンサ $1C$ （以下積分コンデンサと呼ぶ）に充電するとき、つぎの関係式が成立する。

$$E_c = I r_1 \left\{ 1 - e^{-\frac{t}{C(r_1+r_2)}} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

- E_c : 積分電圧(積分コンデンサの電圧)
- I : 管電流
- r_1 : 入力抵抗の抵抗値
- r_2 : 積分抵抗の抵抗値



第3図 積分回路原理図



第4図 積分特性

C: 積分コンデンサの容量

t: 撮影時間

したがって、つぎの事項が成立する。

(1) 管電流 I が変化しても入力抵抗 R_1 に等しい電圧降下を生じさせるためには、入力抵抗の抵抗値 r_1 を管電流 I に反比例させればよい。

(2) 管電流 I が変化しても、等しい管電流量に対して等しい積分電圧 E_c を得るためには、撮影時間 t が管電流に反比例しなければならない。したがって、入力抵抗の抵抗値 r_1 および積分抵抗の抵抗値 r_2 が管電流 I に反比例すればよい。

すなわち、第3図に示した回路において、入力抵抗 $1R$ の抵抗値および積分抵抗 $2R$ の抵抗値をそれぞれ管電流に反比例して変化させることにより、管電流のいかにかわらず管電流量と積分電圧 E_c とを(1)式によって与えられる一定の関係で対応させることができる。

2.3 実験的考察

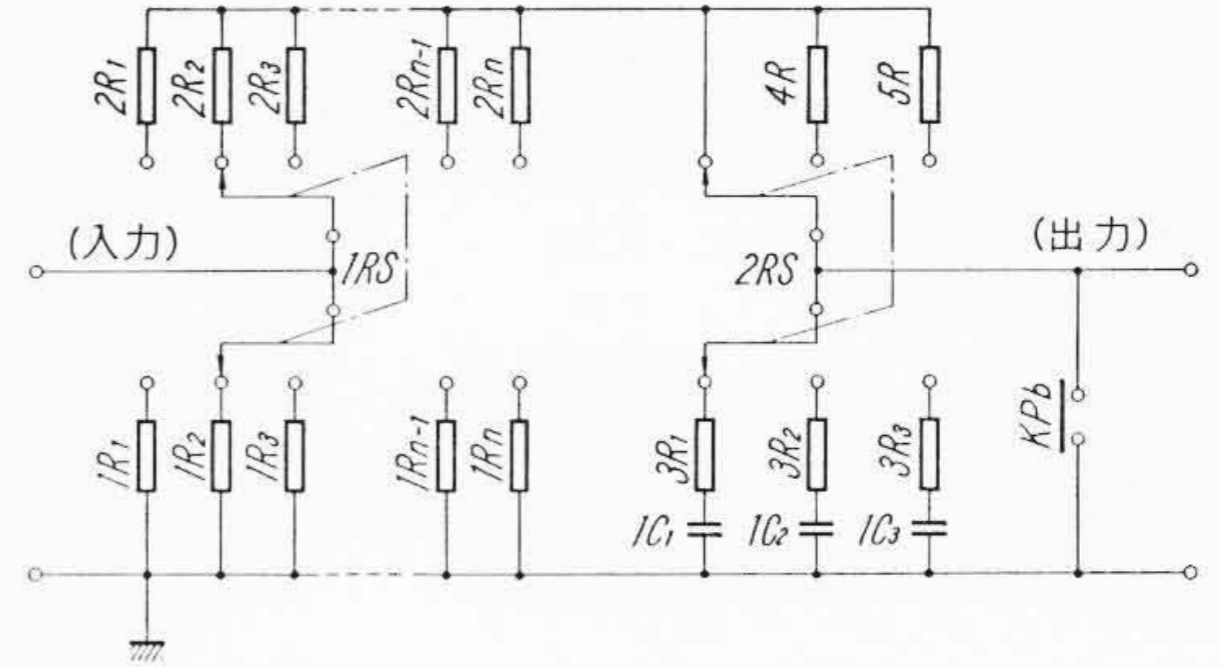
前節において示した(1)式の関係は、管電流を一定値として得たものであるが、実際の管電流波形は脈流であり商用周波数の正弦波形に近似している。したがって、前節の結論をそのまま実際の装置に適用し得るか否かを実験的に確かめた。

第4図は、(1)式における Ir を 300 V 、積分コンデンサ C の容量を $1\ \mu\text{F}$ とする第3図の回路の積分特性すなわち管電流量と積分電圧との関係を示したものである。この回路に入力として平均 $10\sim 500\text{ mA}$ の各種の管電流を与え、オシログラフおよびサイクルカウンタにより撮影時間を測定して、管電流量と積分電圧との関係をプロットした結果、2%以下の測定誤差と考えられる誤差が現われたりだけであった。したがって、第3図に示した回路を mAs 制御回路として実用し得ることを確認した。

2.4 実用的考察

(1) 倍率切り替え

X線撮影においては、高圧胸部正面撮影の場合には $2\sim 4\text{ mAs}$ 、低圧腰椎側面撮影の場合には約 200 mAs が必要である。したがっ



第5図 積分回路

て、あらゆる部位の撮影に適合するためには $0\sim 250\text{ mAs}$ を制御する必要がある。もし、管電流量 $0\sim 250\text{ mAs}$ を積分電圧 $0\sim 100\text{ V}$ に対応させるときは、 $2\sim 4\text{ mAs}$ のような小管電流量撮影における誤差のパーセンテージが大きくなり、写真の診断的価値を低下させる原因になる。したがって、 $0\sim 10$ 、 $10\sim 100$ 、 $100\sim 1,000\text{ mAs}$ の3段階を切り替えて、それぞれ $0\sim 100\text{ V}$ に対応させる必要がある。

(1) 式は積分コンデンサの容量 C を10倍にすれば、等しい積分電圧に到達する時間 t が10倍になることを意味している。すなわち、容量を10倍にすれば制御される管電流量が10倍になることを示している。したがって、積分コンデンサを切り替えることにより所望の倍率で管電流量を制御することができるようにした。

(2) 時間的遅れの補償

積分電圧が所望の管電流量に対応する値に達した時期に、リレーを作動して主変圧器の一次側を開路し管電流を遮断する場合には、リレーおよび電磁開閉器の機械的動作による時間遅れがあり、その間に相当する管電流量が増加することになる。したがって、管電流に比例する時間だけ早く、管電流遮断信号を与えなければならない。

管電流量と積分電圧との関係は、第4図に示すように、積分特性が直線的関係ではない。したがって、理論的には、制御しようとする積分電圧によって時間遅れを補償する電圧を変化しなければならない。しかし、このような補償回路を作成することはいたずらに回路を複雑化するのみであり、実用上の効果にはほとんど問題はないと考え、積分抵抗を分割してその一部を時間遅れ補償抵抗とし、積分電圧とは無関係に一定の補償電圧を得るようにした。したがって、積分電圧によって若干の誤差を生じるが、その値は最大 3 ms 程度であり実用上無視することができる。

3. mAs 制御装置

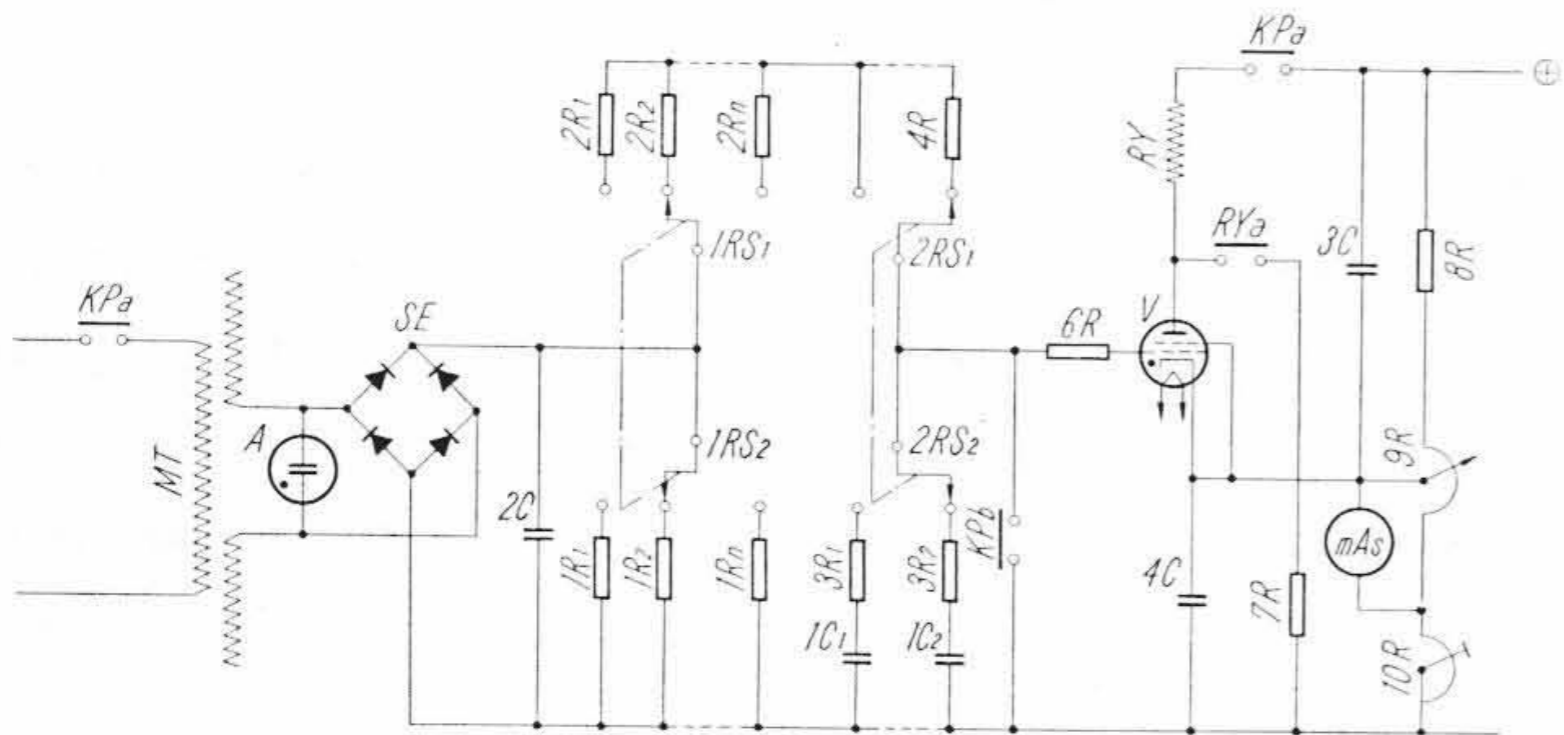
3.1 積分回路

管電流量に比例する積分電圧を得るための積分回路を第5図に示す。この回路においては、管電流を n 種選択し得るものとし、入力抵抗 $1R$ および積分抵抗の一部 $2R$ をそれぞれ n 個とし、管電流を選択する回路切替器 $1RS$ によって、管電流の選択と連動して管電流に反比例する抵抗値を有する1組の入力抵抗と積分抵抗を選択するようにした。これらの抵抗の一例を第1表に示す。

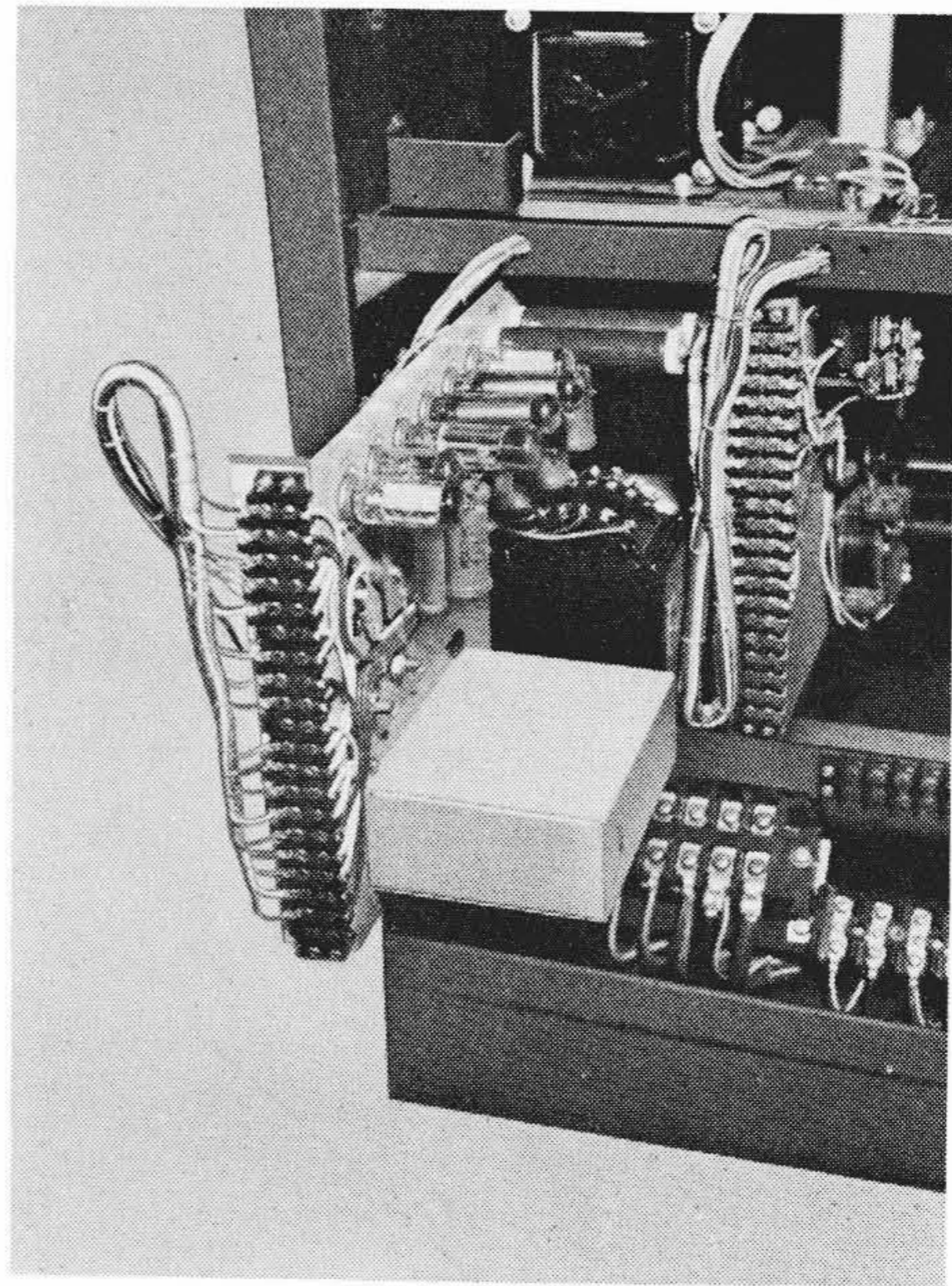
積分回路には mAs 倍率切替回路を付加し、倍率切替器 $2RS$ によって次の3種の積分コンデンサを選択するようにした。すなわち $0\sim 10\text{ mAs}$ の制御には積分コンデンサ $1\ \mu\text{F}$ 、 $10\sim 100\text{ mAs}$ には $10\ \mu\text{F}$ 、 $100\sim 1,000\text{ mAs}$ には $100\ \mu\text{F}$ がそれぞれ選択されるようにした。したがって、時間遅れ補償抵抗 $3R$ も積分コンデンサの容量に反比例するよう選択し、それぞれの積分コンデンサに直列にそり入して、倍率切替器 $2RS$ によって切り替えられるようにした。なお、

第1表 入力抵抗・積分抵抗の一例

管電流 (mA)	入力抵抗 (kΩ)	積分抵抗 (MΩ)
500	0.600	0.0500
400	0.750	0.0625
300	1.00	0.0833
200	1.50	0.125
100	3.00	0.250
50	6.00	0.500
25	12.00	1.00



第6図 mAs 制御回路



第7図 mAs 制御装置の組込状態

第5図に示した抵抗4R および5R は、それぞれ時間遅れ補償抵抗 $3R_1$ と $3R_2$ との差および $3R_1$ と $3R_3$ との差に等しい抵抗値を有する抵抗であり、これらによって積分抵抗 ($2R_{1-n}, 3R_{1-3}, 4R, 5R$ の和) が一定値になるようにしたものである。また、出力端子間を短絡する接点 KPa は、管電流を流すために主変圧器一次回路を閉成する電磁開閉器 KP のブレーク接点であり、撮影終了後積分コンデンサの電荷を放電するためのものである。

3.2 mAs 制御回路

第6図はX線装置に組み込み管電流量を制御するための mAs 制御回路を示す。主変圧器 MT の中性点においてブリッジ形整流器 SE によって管電流を全波整流して積分回路に入力として与える。10~50 mA 程度の小管電流を流すときは、高圧ケーブルのもつ容量その他の迷容量を充電するための異常電流が流れるため、入力回路に異常電圧を発生し整流器を破損するおそれがある。したがって、直流側にろ波用コンデンサ 2C をそう入した。また、高圧回路における絶縁破壊やX線管のグロー放電による異常電流に対して保護するために、自動復帰式アレスタ A をそう入した。なお、このアレスタは高圧回路の異常放電を警報する表示灯としての役目も果たしている。

積分回路の時間遅れを補償された出力は、抵抗 6R を介してサイラトロン V の第1グリッドに与えられる。一方、サイラトロン V のカソードは可変抵抗 9R によって約 2~100V の間の電圧が与えられる。したがって、入力電圧が上昇し、サイラトロン V のグリッド・バイアスが点弧電圧に達した時期に、サイラトロン V が点弧しその点弧電流によってリレー RY が作動し管電流を遮断する。すなわち、サイラトロン V のカソード電圧に従って管電流量が制御されることになる。したがって、電圧計によってカソード電圧を示し、これを mAs 直読に目盛ることにより、制御しようとする管電流量を前示することができる。

可変抵抗 10R は、サイラトロンが点弧するグリッド・バイアスの値が約 -2V 程度であるため、この点弧電圧と mAs の直読値とを合致させるためにそう入したものであり、固定抵抗 8R はサイラトロン V にプレート電圧を与えるためのものである。コンデンサ 3C はリレー RY の付勢電源および電圧安定のため、コンデンサ 4C

は電圧安定のためにそう入した。リレー RY の自己保持回路 (接点 RYa および抵抗 7R) は、自己保持と同時にサイラトロンを消弧するために設けたものである。

3.3 mAs 制御装置

第7図は mAs 制御装置をX線装置の制御パネルに組込んだ状態の写真である。第6図に比して電子管が3本多いが、この3本は管電流を流すとき高圧回路に異常電圧を発生させないために、電圧波形と同期して電磁開閉器 KP のメーク接点 KPa を投入するための、同期投入回路および直流電源回路を組込んだためである。また、mAs 制御装置は差込式を採用し輸送時の取りはずしと組立時の調整を容易にした。

mAs 制御装置は単独に作成し、X線装置の制御パネル内の他の回路との接続にはすべてターミナルを用い互換性を容易にした。

4. 結 言

緒言に述べたように、管電流の誤差を僅少にすることは相当困難であり、複雑な安定回路を作ることは装置をいたずらに複雑にするのみで実用的価値が少ない。これに反して、管電流量を直接制御する mAs 制御は、撮影時間を加減して管電流の誤差を自動的に補償し、予期した管電流量を精度高く制御することのできる実用的な方式である。また、本装置の実験的検討については、第2章において述べたとおりであり、実用上十分な精度で管電流量を制御することができた。

mAs 方式によってタイマ方式では得られない次のような特長が得られた。

- (1) 選択した管電流量を mAs 計に前示することができる。
- (2) 管電流量を連続的に選択することができる。
- (3) 単相全波整流式X線装置において、整流管が1本断線しても予定した撮影を行なうことができる。この場合には撮影時間が自動的に2倍になる。
- (4) 電子管式タイマ装置に比して小形軽量である。
- (5) 撮影条件設定が簡単である。

参 考 文 献

- (1) 山根, 児玉: 日立評論, 43, 288 (昭36-2)