

JAERI-M

5 4 5 4

JAERI 5.5MV Van de Graaff
電圧自動制御装置

1973年11月

佐藤 豊, 吉田 忠

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

JAERI-M 5454

JAERI 5.5MV Van de Graaff 電圧自動制御装置

日本原子力研究所東海研究所物理部

佐藤 豊・吉田 忠

(1973年10月31日受理)

電圧自動制御装置は、5.5MVヴァン・デ・グラーフ加速器の端子電圧を無人に必要な電圧まで自動的に上昇させ、その電圧を保持するための装置である。この報告では装置の概要および運転結果について述べてある。この装置にはヴァン・デ・グラーフ加速器を安全に運転するため、7系統の安全装置が付け加えられている。

JAERI-M 5454

Automatic Voltage Conditioner for the JAERI 5.5 MV
Van de Graaff Accelerator

Yutaka SATO and Tadashi YOSHIDA

Division of Physics, Tokai, JAERI

(Received October 31, 1973)

An automatic voltage conditioning device, built for the JAERI 5.5 MV Van de Graaff accelerator, is described and also its operational performance. It can condition the accelerator to a required energy without surveillance. It has built-in features to safeguard against seven abnormal situations in the operation of the accelerator.

目 次

1. はじめに	1
2. 装置の構成と性能	1
2.1 構 成	1
2.2 スリット・フィードバック・システム	2
2.3 オート・コンディショナー	3
2.4 安全装置	4
3. 調整・運転	6
3.1 調 整	6
3.2 連続運転テスト	6
4. おわりに	7

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Instrument and performance	1
2.1 Constitution	1
2.2 Slit-feedback system	2
2.3 Auto-conditioner	3
2.4 Safety device	4
3. Adjustment and operation	6
3.1 Adjustment	6
3.2 Operation test	6
4. Concluding remarks	7

1. はじめに

一般に、ヴァン・デ・グラフ加速器によって安定なイオンビームを加速するためには、端子電圧が高くなるほど長時間のならし運転（コンディショニング）を事前に行っておく必要がある。これはおもに加速管の内部電極間で起る小放電によって電圧の上昇が阻害されている状態を除々に電圧を上げることによって除去するためのものであり、この放電はならし運転の時間経過と共に少なくなってくる。一般に端子電圧、すなわち加速管に印加する電圧が高くなるほど、ならし運転に要する時間は長くなる。

従来、5.5 MV ヴァン・デ・グラフ加速器の運転は朝始まり、実験に必要な加速電圧より少し上までならし運転を行い実験を行ってきた。高い加速電圧を必要とする実験の場合、たとえば、5 MV の実験においては前日までの運転状況にもよるが、3時間位から多い時は5～6時間ものならし運転が必要であり、実験をする時間はその分だけ縮められてしまい、加速器の使用効率が悪かった。

そこで加速器の有効な使用時間を長くするため、夜間を利用し、高圧端子の電圧を自動的に除々に上昇させ、かつ希望の電圧に保持しておける装置、すなわち電圧自動制御装置を設計、設置した。

2. 装置の構成と性能

2.1 構成

電圧自動制御装置は次の3つの部分より構成されている。

- (1) 新しく米国から購入したスリット・フィードバック・システム⁺
- (2) 加速器の端子電圧を自動的に上昇および下降させる装置、オート・コンディショナー
(オート・コンディショナーの自動的な電圧上昇・下降の方法は文献1を参照した。)
- (3) 夜間も無人で運転するため種々の安全回路を組みこんだ装置

これらはヴァン・デ・グラフ加速器の一部として働かせるため、加速器本体は部分的に Fig. 1, Fig. 2 に示すような改造を行なった。新しく設置した機器間を接ぐ配線は信号系統へのノイズの混入を極力さけるため、従来の配線と共用することなく独立した配線・配管を行なった。

5.5 MV ヴァン・デ・グラフ加速器には従来よりいくつかの簡単な安全装置が組み込まれている。例えば真空ポンプの冷却水温が設定値より上昇したりすれば自動的に加速器を止める装置等がある。しかし安全装置の検出系統の数が少いため無人で運転するには無理な状態であった。自動電圧制御装置の設置にともない、従来の安全装置に加えさらに正確に動作する安全装置を付加した事により、安全性の面から充分無人で運転できるようになった。

+ Model 9024, Spectromagnetic Corp., 950 Gilman Street, Berkeley, CA 94710

1. はじめに

一般に、ヴァン・デ・グラフ加速器によって安定なイオンビームを加速するためには、端子電圧が高くなるほど長時間のならし運転（コンディショニング）を事前に行っておく必要がある。これはおもに加速管の内部電極間で起る小放電によって電圧の上昇が阻害されている状態を除々に電圧を上げることによって除去するためのものであり、この放電はならし運転の時間経過と共に少なくなってくる。一般に端子電圧、すなわち加速管に印加する電圧が高くなるほど、ならし運転に要する時間は長くなる。

従来、5.5 MV ヴァン・デ・グラフ加速器の運転は朝始まり、実験に必要な加速電圧より少し上までならし運転を行い実験を行ってきた。高い加速電圧を必要とする実験の場合、たとえば、5 MV の実験においては前日までの運転状況にもよるが、3時間位から多い時は5～6時間ものならし運転が必要であり、実験をする時間はその分だけ縮められてしまい、加速器の使用効率が悪かった。

そこで加速器の有効な使用時間を長くするため、夜間を利用し、高圧端子の電圧を自動的に除々に上昇させ、かつ希望の電圧に保持しておける装置、すなわち電圧自動制御装置を設計、設置した。

2. 装置の構成と性能

2.1 構成

電圧自動制御装置は次の3つの部分より構成されている。

- (1) 新しく米国から購入したスリット・フィードバック・システム⁺
- (2) 加速器の端子電圧を自動的に上昇および下降させる装置、オート・コンディショナー（オート・コンディショナーの自動的な電圧上昇・下降の方法は文献1を参照した。）
- (3) 夜間も無人で運転するため種々の安全回路を組みこんだ装置

これらはヴァン・デ・グラフ加速器の一部として働かせるため、加速器本体は部分的に Fig. 1, Fig. 2 に示すような改造を行なった。新しく設置した機器間を接ぐ配線は信号系統へのノイズの混入を極力さけるため、従来の配線と共用することなく独立した配線・配管を行なった。

5.5 MV ヴァン・デ・グラフ加速器には従来よりいくつかの簡単な安全装置が組み込まれている。例えば真空ポンプの冷却水温が設定値より上昇したりすれば自動的に加速器を止める装置等がある。しかし安全装置の検出系統の数が少いため無人で運転するには無理な状態であった。自動電圧制御装置の設置にとともに、従来の安全装置に加えさらに正確に動作する安全装置を付加した事により、安全性の面から充分無人で運転できるようになった。

+ Model 9024, Spectromagnetic Corp., 950 Gilman Street, Berkeley, CA 94710

5.5 MV ヴァン・デ・グラフ加速器には Fig. 1 (a) に示すように、高圧端子の電圧を計るためのジェネレーティング・ボルトメーターと、イオンの加速電圧を一定にするためのコロナ・スタビライザーが設置されている。加速器の運転において前者は単に加速器の高圧端子の電圧を読むことのみで使用されていた。後者は高圧端子電圧を制御するよう、コロナ・スリットからコロナ・ドライブ回路を通過して帰還がかけられていた。しかしスリット・アンプの利得が不十分であったために、イオンを加速した時その加速エネルギーの拡がりは最良の条件でも 2KV 位はあった。スリット・フィードバック・システムはこれら 2 つの機能を組み込んだ型のものであり、帰還ループの利得はかなり高いため、これを使用することにより、加速粒子のエネルギーの拡がりはかなり小さくすることができた。

新たに作製したオート・コンディショナーは本装置の中核をなすもので加速器の高圧端子電圧を自動的に少しずつ上げたり、下げたりする自動制御回路により、夜間のうちに高圧端子電圧を希望する電圧まで自動的に上昇させ、その電圧を保持することができるようになった。

(Fig. 3) 自動制御装置の 3 つの部分はすべて加速器本体と一体で動作させ、必要があるものについては記録計に書かせ、常に運転状況が監視できるようになっている。

2.2 スリット・フィードバック・システム

スリット・フィードバック・システムは Fig. 4 に示すように入力として、コロナ・スリット、ジェネレーティング・ボルトメーター、ピックアップ・キャパシティーの 3ヶ所から信号を入れ、いずれの信号もコロナ・ドライブ・チューブに帰還させている。これにより従来はできなかったジェネレーティング・ボルトメーターからの信号（高圧端子からの電圧）と内蔵している比較のための標準電圧とを用いてヴァン・デ・グラフ加速器の端子電圧を制御できるようになっている。また、コロナ・スリットからの信号によって、より高精度の制御も行なえる。

ジェネレーティング・ボルトメーターおよび、コロナ・スリットからの信号は主に遅い周期の変動に対して作用し、早い周期の変動はピックアップ・キャパシティーからの信号により制御される。これら 3 種類の信号を用いることにより、ヴァン・デ・グラフ加速器の端子電圧は加速粒子の有無、強さに無関係に制御することができる。イオン・ビーム加速時のコロナ・スリットからの制御に関しても、従来は少いビーム電流での制御はむずかしかったものも安定に制御できるようになっている。

スリット・フィードバック・システムには 3 つの制御モードがある。

- (1) ジェネレーティング・ボルトメーター・モード
- (2) コロナ・スリット・モード
- (3) コンディショナル・モード

の 3 つである。(3) のモードはスリット・アンプからの信号の有無により（ビーム電流の有無）(1) または (2) のモードに自動的に切り換わる。また、端子電圧設定用ポテンシオメーターにより設定されるべき端子電圧と実際の端子電圧の誤差が 30 KV に達すると (1) のモードに自動的に切り換わるようになっている。

以下にスリット・フィードバック・システムの性能を示す。

1. Long Term Stability (Terminal Voltage)

Slit Mode $\pm 100V/10^6 V$

G.V. Mode	$\pm 1000V/10^6 V$
2. Terminal Ripple Voltage	$150VP-P/10^6 V$
3. Slit Current Required	$10^{-10}A$ (minimum)
Log Output Signal	$10^{-9}A$ (minimum)
Differential Output	from 10^{-9} to $10^{-10}A$ (minimum)
4. Terminal Voltage	
Maximum Adjustment	$10 \times 10^6 V$
Minimum Adjustment	$\leq 10\%$ of Max. Voltage
5. Automatic Crossover (Conditional Mode)	
Slit Control to G.V. Control	$\pm 30KV$

2.3 オート・コンディショナー

オート・コンディショナーはコントロール・ユニットとドライブ・ユニットの2つに別けられており、標準型のモジュール用ピン電源に挿入されている。

オート・コンディショナーへの入力信号は、ヴァン・デ・グラーフ加速器の高圧タンクの側面にあるピックアップ・キャパシティーからの信号をスリット・フィードバック・システムを通し増巾し、使用している。この信号は加速器の端子電圧が放電により下がった時、ピックアップ・キャパシティーに誘起される負のパルス信号（最大約2V）である。

以下 Fig.5, Fig.6 に沿って説明する。加速器に放電が生じた場合、放電回数をレジスターに記録させ、コントロール・ユニットの下降制御回路（デクリーズ・コントローラー）が働き、ドライブ・ユニットのステッピング・モーターで加速器の端子電圧制御用ポテンシオメーターを駆動し、端子電圧を下げるように動作する。一方、一定の待時間内に放電が生じなかった場合、上昇制御回路（インクリーズ・コントローラー）が働き、ステッピング・モーターで上記のポテンシオメーターを駆動し、高圧端子電圧を上昇させるように働く。コントロール・ユニットの上昇および下降制御回路は、それぞれ独立に待時間設定回路と動作持続時間設定回路があり、任意に上昇または下降の制御巾を設定することができる。また、ステッピング・モーターを駆動するための発振器も内蔵されており、これより発生するパルスは4~500 Hzの範囲で任意に設定できる。これら待時間、動作持続時間設定回路、発振器の設定値を適当に組み合わせる事により得られた信号は、ドライブ・ユニットに入りその信号分だけステッピング・モーターを駆動し、連結されているポテンシオメーターによりヴァン・デ・グラーフ加速器の端子電圧を制御する。ドライブ・ユニットにはステッピング・モーターの暴走を防止するため、2重のリミット・スイッチが設けられ、回路が故障したりしてもその設定巾以上にモーターが回転しないようになっている。

以下にそれぞれのユニットの性能を示す。

コントロール・ユニット

入力	負のパルス	0.5 ~ 5 V
レジスター	計数速度	20 Counts / sec
待時間	上昇・下降共	10, 20, 30, 40, 50分
動作時間	上昇・下降共	0.1秒ステップで9.9秒まで

外部入力	上昇・下降共	+3.5V~5V
発振器		4~500 Hz 任意
出力	上昇・下降共	4.2V
ドライブ・ユニット		
自動スイッチ		ON.OFF
手動スイッチ		押釦・上下降共1ステップずつ
下限値設定		0~100%
上限値設定		0~100%
指示計		0~100目盛
出力用ポテンシオメーター		2連1K Ω ヘリポット
ステッピングモーター		山洋電機製 Model 103-708-4 ステッピングモーター

2.4 安全装置

前にものべたように、ヴァン・デ・グラーフ加速器には従来より幾つかの安全装置が組み込まれているが、より安全性を高めるため新しく別系統で安全装置を設置した。

この制御系安全装置は Fig 7 に示すように、接点信号3系統、上・下レベルを設定できるリニア-信号系が4系統ある。いずれの系統にも異常が発生した時には、ヴァン・デ・グラーフ加速器の主電源を切り、同時に表示器によりどの系統に異常があったかが解るようになっている。また、異常状態が回復した場合、リセット・スイッチを押すことにより、主電源断の状態と表示を復帰させることができる。

接点信号は正常時にON,異常時にOFFとなり、出力回路を動作させ、リニア-信号は増巾器を経て上下限設定回路に入り、信号レベルが設定された範囲を外れると出力回路を動作させる。

リニア-信号はペン・レコーダーに記録される。これらの記録は異常状態の表示のみならず、運転時のモニターとしても使用される。

各系統の入力に対する出力および動作を Table.1 に示す。

Table 1 Input and output of safety device

No.	系統名	入力状態	主電源	表示ランプ	記録計動作
1	オート・コンディショナー	回路 OFF	断	赤	
2	地震計	回路 OFF	断	赤	
3	ベルトテンション	回路 OFF	断	赤	
4	タンク内温度	上限以上	断	赤	記録続行
		下限以下		青	
5	冷却水温度	上限以上	断	赤	記録続行
		下限以下		青	
6	真空度	上限以上	断	赤	記録続行
		下限以下		青	
7	ライン電圧	上限以上	断	赤	記録続行
		下限以下		青	

検出回路および検出器の特性は次のとおりである。

1. 地震計	明石製作所製 A J A - 2 H 型, 地震計	20~100 gal 設定任意
2. タンク内温度	測定範囲	0~50℃
	検出器	サーミスター
	レコーダー出力	0~10 mV
	測定精度	2%以下
	上下限設定	0~50℃
	応答時間	3秒
3. 冷却水温度	測定範囲	0~50℃
	検出器	サーミスター
	レコーダー出力	0~10 mV
	測定精度	2%以下
	上下限設定	0~50℃
	応答時間	6秒
4. 真空計	英国, Edwards 社製 Model-7 Ionization Vacuum Gauge	
	真空度系統	
	入力最大値	-1.25 V
	測定範囲	0~-1.25 V
	レコーダー出力	0~10 mV
	上下限設定	0~10 mV
5. ライン電圧	入力電圧	A.C. 0~135 V, 50 Hz
	レコーダー出力	0~10 mV
	上下限設定	0~130 V A.C.
	出力精度	1%
	応答時間	1秒

3. 調整・運転

3.1 調整

運転を始める前に個々の回路について予備テストを行った。スリット・フィードバック・システムについては既製品にもかかわらずかなりの誤配線があり、調整にてまどってしまったが、他の回路についてはエレクトロニクス課の協力によりスムーズに調整ができた。スリット・フィードバック・システムはオート・コンディショナーおよび安全回路より数ヶ月早く入荷したので、まず、このシステムをヴァン・デ・グラフ加速器に取り付け、テスト・調整後正常な使用状態に入った。使用するにあたり、ジェネレーティング・ボルトメーターおよびコロナ・ドライブ回路の改造も行った。実際のビームを出しての運転において、スリット・フィードバック・システムは微小電流にも良く追従し、制御は非常にしやすくなった。しかし、スリット・アンプの調整がむずかしく、すぐ最良点がずれてしまい、今後、スリット・アンプは改造する必要がある。

オート・コンディショナーおよび安全回路は非常に安定に働き、特別の調整は必要がなかった。安全回路の各系統の上限・下限の設定は実際にヴァン・デ・グラフ加速器を運転し、それにより下記のように設定した。

系 統 名	標 準 値	上 限	下 限
電源電圧	125 V	130 V	115 V
真空度	$1 \sim 4 \times 10^{-6}$ Torr	9×10^{-6} Torr	9×10^{-7} Torr
冷却水温度	10 ~ 12 °C	25 °C	8 °C
タンク内温度	17 ~ 20 °C	30 °C	8 °C
地震計		30 gal 以上	
ベルト・テンション	各 800 Lb	HVEC*の設定値以内	

3.2 連続運転テスト

前述のようにヴァン・デ・グラフ加速器本体の一部改造・新設装置の回路調整後長時間連続運転のテストを行った。

われわれのヴァン・デ・グラフ加速器は4.5 MV位までのならし運転は早くできるが、それ以上の端子電圧にするには電圧値の増大とともに非常に時間がかかる。5.5 MV位まで上げようとするとも一日中ならし運転に終ることがあった。オート・コンディショナーによる第一回目のテストでは4.5 MV以上は従来行ってきたならし運転よりも時間が長くかかった。その原因として、長い間高い端子電圧にしかなかった事もあるが、オート・コンディショナーの設定値が不適當（一回の動作で大巾に端子の電圧が上・下降する。特に高い端子電圧のとき、大巾

* High Voltage Engineering Corp., Burlington, Massachusetts.

(5.5 MV ヴァン・デ・グラフ加速器の製造会社)

に変化する事により、放電が多くなる。)であった事による。その他、真空測定用の回路の故障などで第一回目のテストでは希望どおりには電圧が上がらなかった。その後、オート・コンディショナーの設定値を適当に変え、70時間にわたり連続運転を行い、その間にオート・コンディショナー及び安全回路の動作も確認でき、誤動作はなかった。

テスト中の記録の一部を Fig.8, Fig.9 に示す。これらの図は、それぞれならし運転開始から5時間までと、ならし運転開始3時間後から8時間までの記録である。Fig.8 では運転開始後約1時間50分に待時間 (DWELL TIME)を10分から30分にしたもので、このあたりから真空度の悪化がみられる。これは真空測定器が非常に敏感であるため、加速管内の小放電による真空度の悪化が観測されたものである。Fig.9 でも Fig.8 と同様、ならし運転開始後約5時間20分で待時間を20分から40分に変えた。放電が多いのは、絶縁ガスの圧力が少し低かった事もその原因の一つである。

以下にその時のオート・コンディショナーの設定値を示す。

For Fig.8

	INCREASE	DECREASE
DWELL TIME (min)	10 (30)	10 (10)
GATE TIME (sec)	0.8 (0.8)	0.3 (0.3)
PULSE RATE (Hz)	4	4
TERMINAL VOLTAGE	3.2~4.6 MV	

For Fig.9

	INCREASE	DECREASE
DWELL TIME	20 (40)	10 (10)
GATE TIME	0.8 (0.8)	0.3 (0.3)
PULSE RATE	4	4
TERMINAL VOLTAGE	4.3~5.3 MV	

4. おわりに

各機器の性能および動作を確認後、無人運転テストも行い、当初予想していた動作は、ほぼ満されたが、さらに安定に広範囲のならし運転を行うためには、次の回路および機構を追加、改造する必要がある。

- 1) コロナ・ポイント・コンドロールを自動的に行き常に一定のコロナ電流が流れるようにする。
- 2) オート・コンディショナーの端子電圧制御用ポテンシオメータを10倍又はそれ以上微動にする。

電圧自動制御装置は昭和48年9月から5.5 MV ヴァン・デ・グラフ加速器のならし運

に変化する事により、放電が多くなる。)であった事による。その他、真空測定用の回路の故障などで第一回目のテストでは希望どおりには電圧が上がらなかった。その後、オート・コンディショナーの設定値を適当に変え、70時間にわたり連続運転を行い、その間にオート・コンディショナー及び安全回路の動作も確認でき、誤動作はなかった。

テスト中の記録の一部を Fig.8, Fig.9 に示す。これらの図は、それぞれならし運転開始から5時間までと、ならし運転開始3時間後から8時間までの記録である。Fig.8 では運転開始後約1時間50分に待時間 (DWELL TIME)を10分から30分にしたもので、このあたりから真空度の悪化がみられる。これは真空測定器が非常に敏感であるため、加速管内の小放電による真空度の悪化が観測されたものである。Fig.9 でも Fig.8 と同様、ならし運転開始後約5時間20分で待時間を20分から40分に変えた。放電が多いのは、絶縁ガスの圧力が少し低かった事もその原因の一つである。

以下にその時のオート・コンディショナーの設定値を示す。

For Fig.8

	INCREASE	DECREASE
DWELL TIME (min)	10 (30)	10 (10)
GATE TIME (sec)	0.8 (0.8)	0.3 (0.3)
PULSE RATE (Hz)	4	4
TERMINAL VOLTAGE	3.2~4.6 MV	

For Fig.9

	INCREASE	DECREASE
DWELL TIME	20 (40)	10 (10)
GATE TIME	0.8 (0.8)	0.3 (0.3)
PULSE RATE	4	4
TERMINAL VOLTAGE	4.3~5.3 MV	

4. おわりに

各機器の性能および動作を確認後、無人運転テストも行い、当初予想していた動作は、ほぼ満されたが、さらに安定に広範囲のならし運転を行うためには、次の回路および機構を追加、改造する必要がある。

- 1) コロナ・ポイント・コンドロールを自動的にを行い常に一定のコロナ電流が流れるようにする。
- 2) オート・コンディショナーの端子電圧制御用ポテンシオメーターを10倍又はそれ以上微動にする。

電圧自動制御装置は昭和48年9月から5.5 MV ヴァン・デ・グラーフ加速器のならし運

転のために本格的動作を開始した。これにより加速器の高い端子電圧による実験の使用効率は従来より2倍以上良くなると思われる。運転時間もそれに比例して2倍位は長くなるので、加速器の機械的部分の消耗に一層留意することが必要になった。

オート・コンディショナーの設計・設置にあたり、エレクトロニクス課の深沢、堀江両氏の多大な御協力に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Holm, L, McLarnon, B, Elliott, J.B, Neilson, G.C: Nucl.Instr.Meth., 88, 177 (1970)

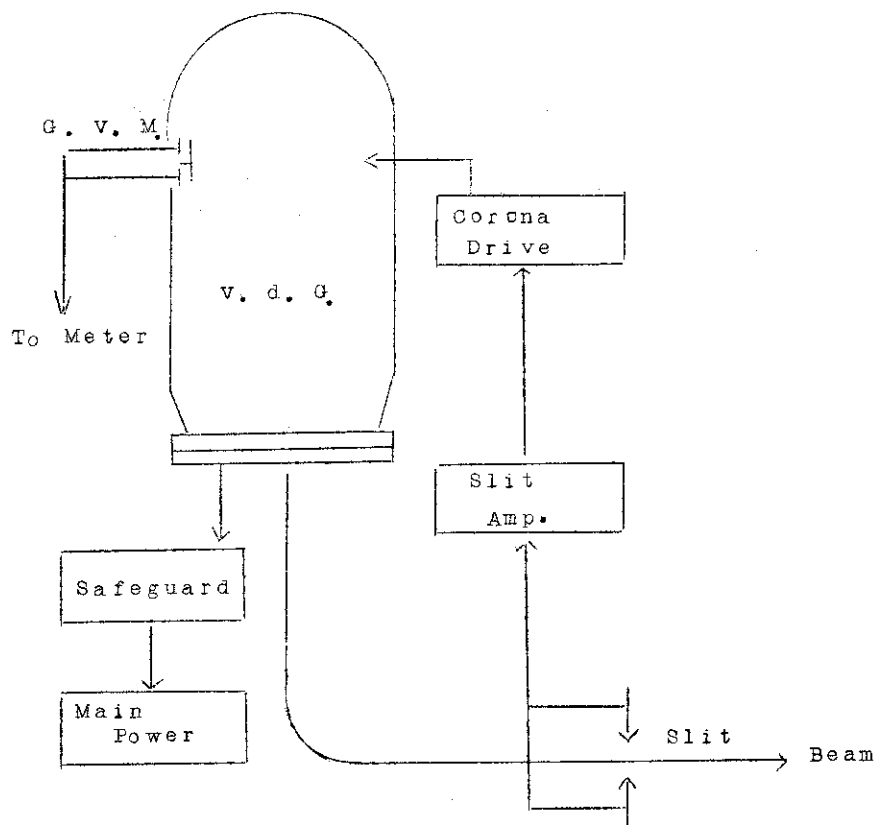


Fig.1(a) Voltage control system before the improvement.

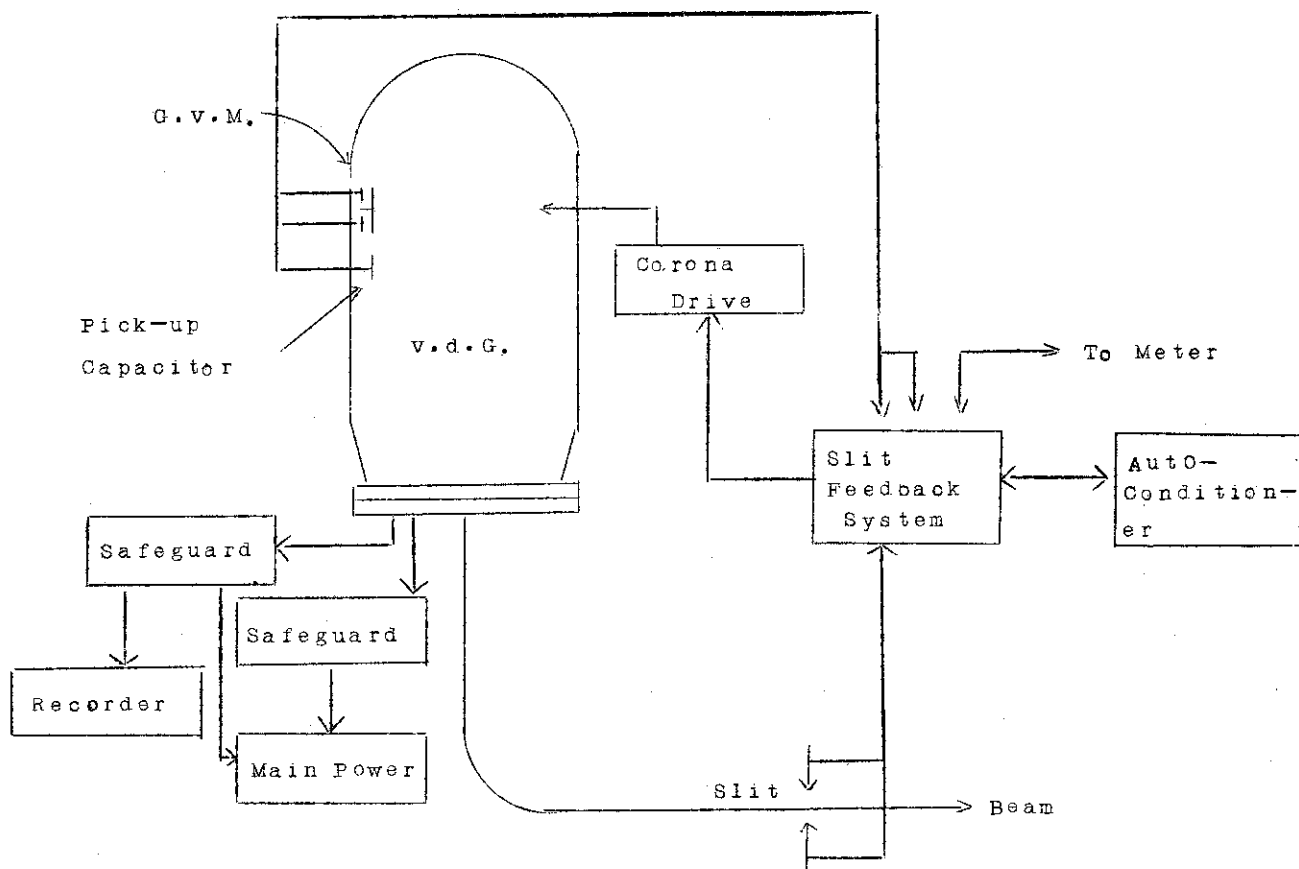
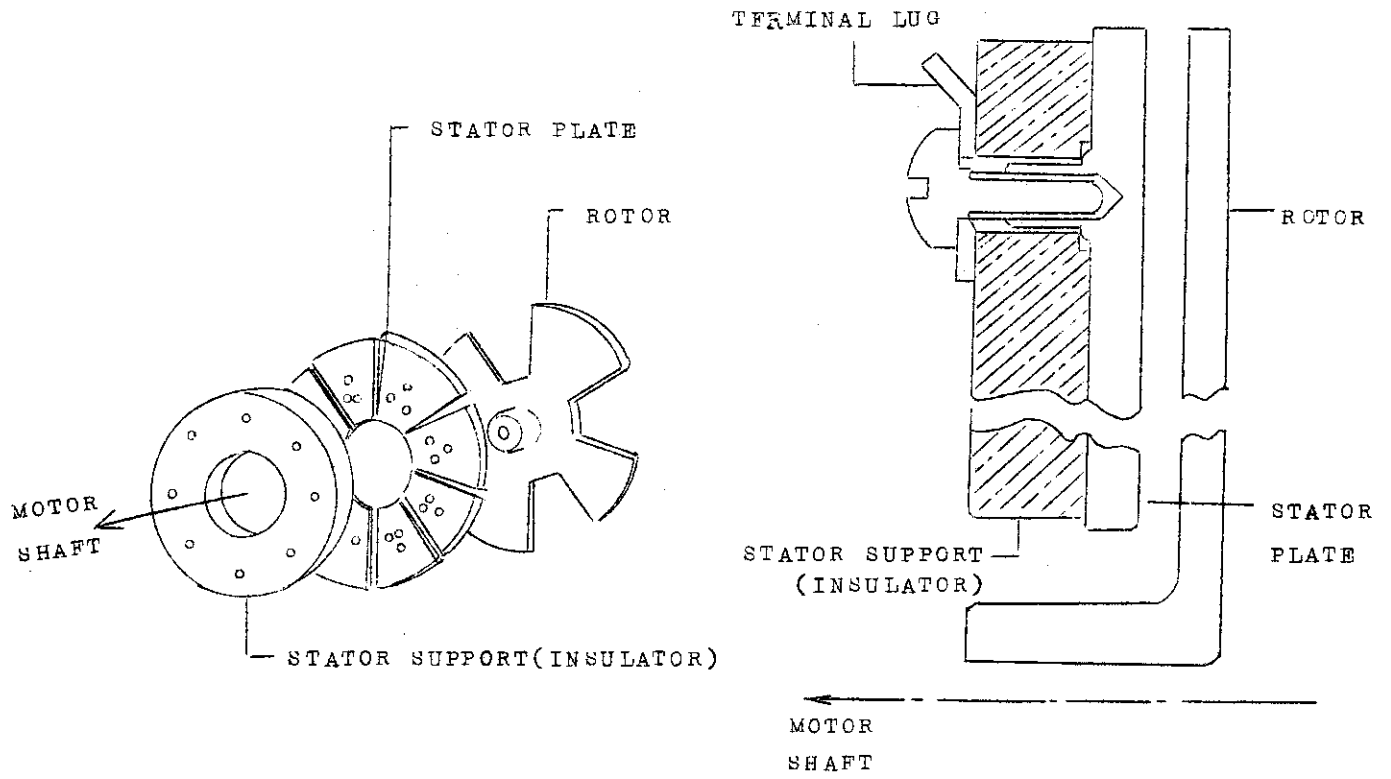


Fig.1 (b) Voltage control system after the improvement.



改造前

改造後

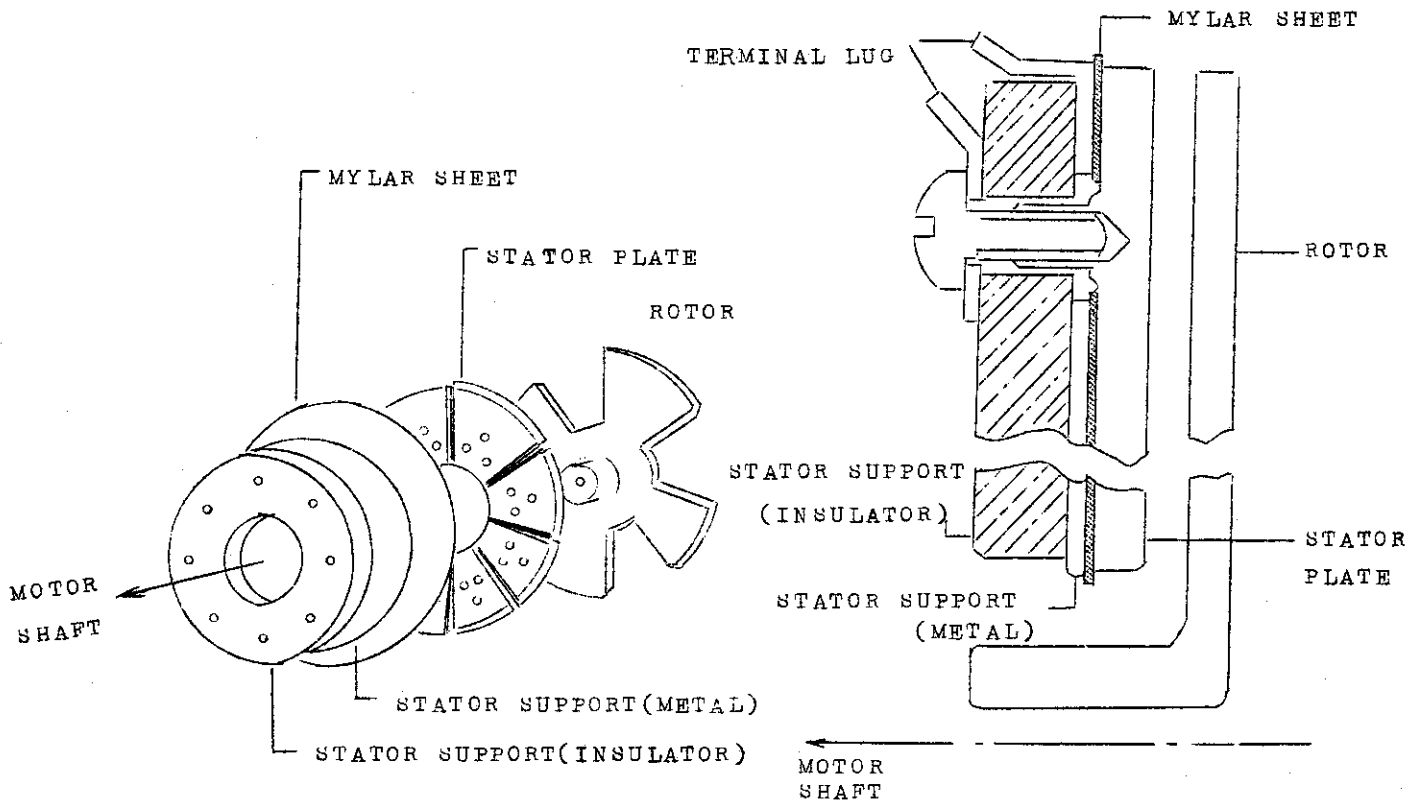


Fig.2 Improved part in the generating voltmeter.

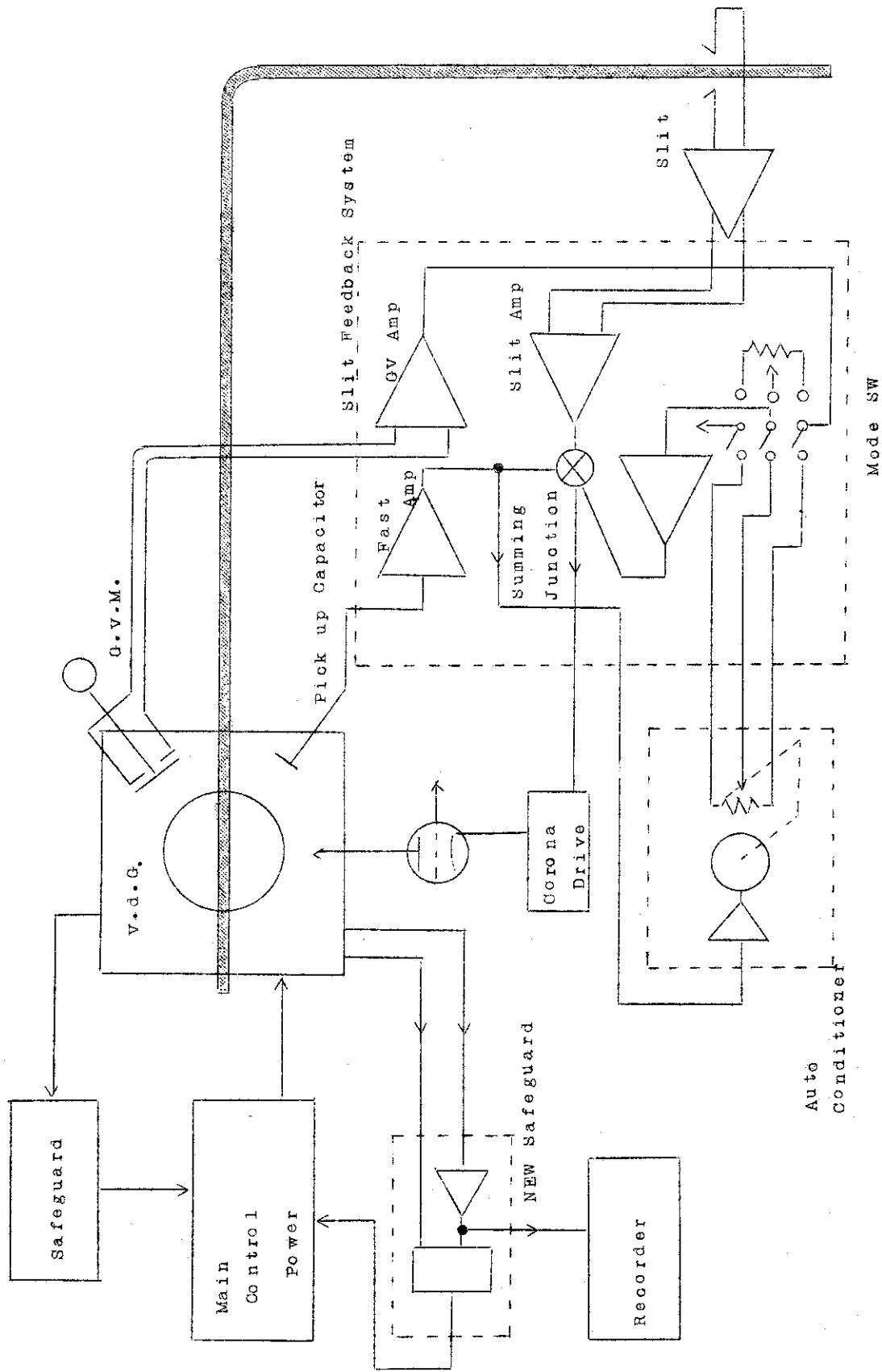


Fig. 3 Block diagram of the total system.

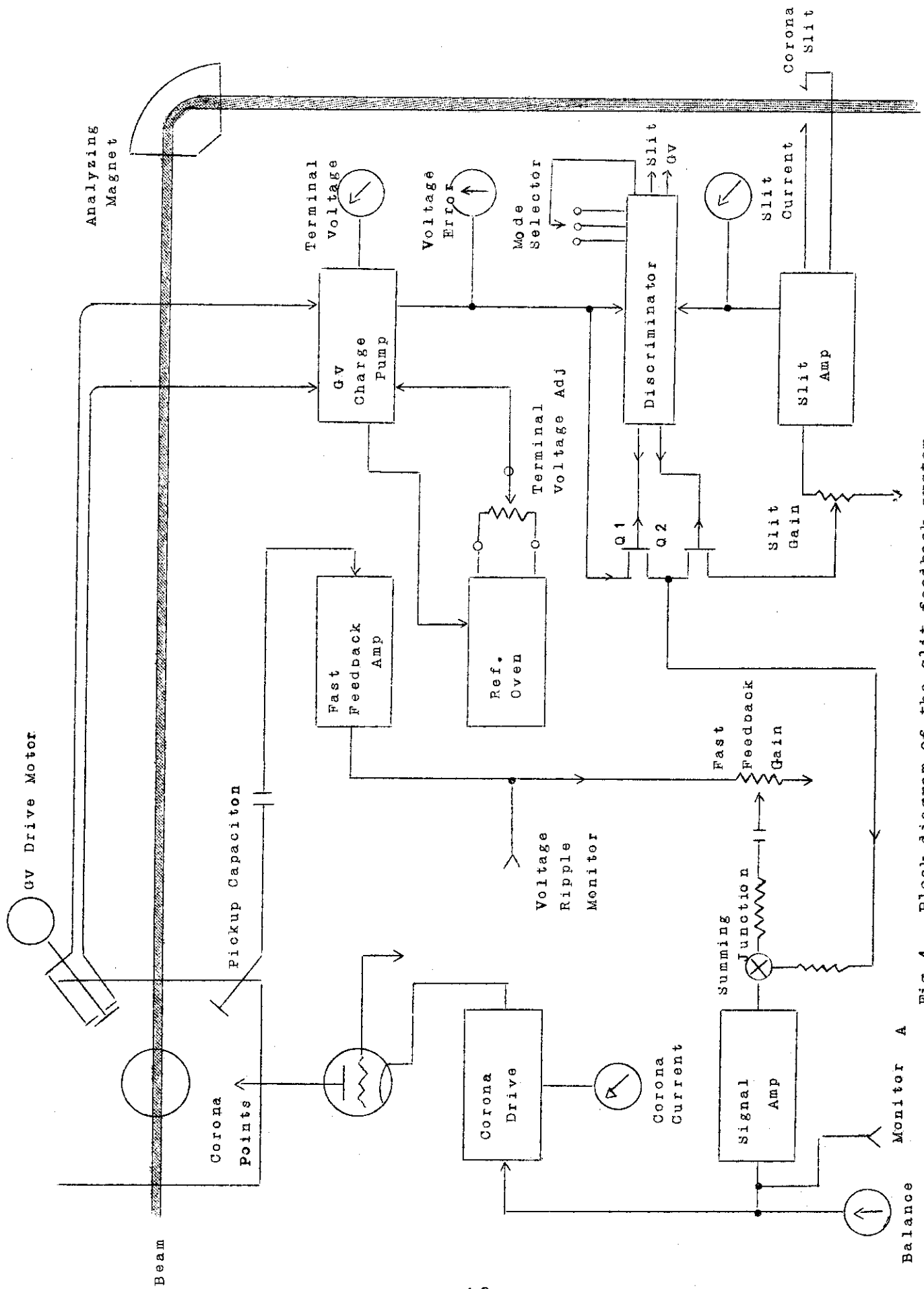


Fig. 4 Block diagram of the slit-feedback system.

Balance Monitor A

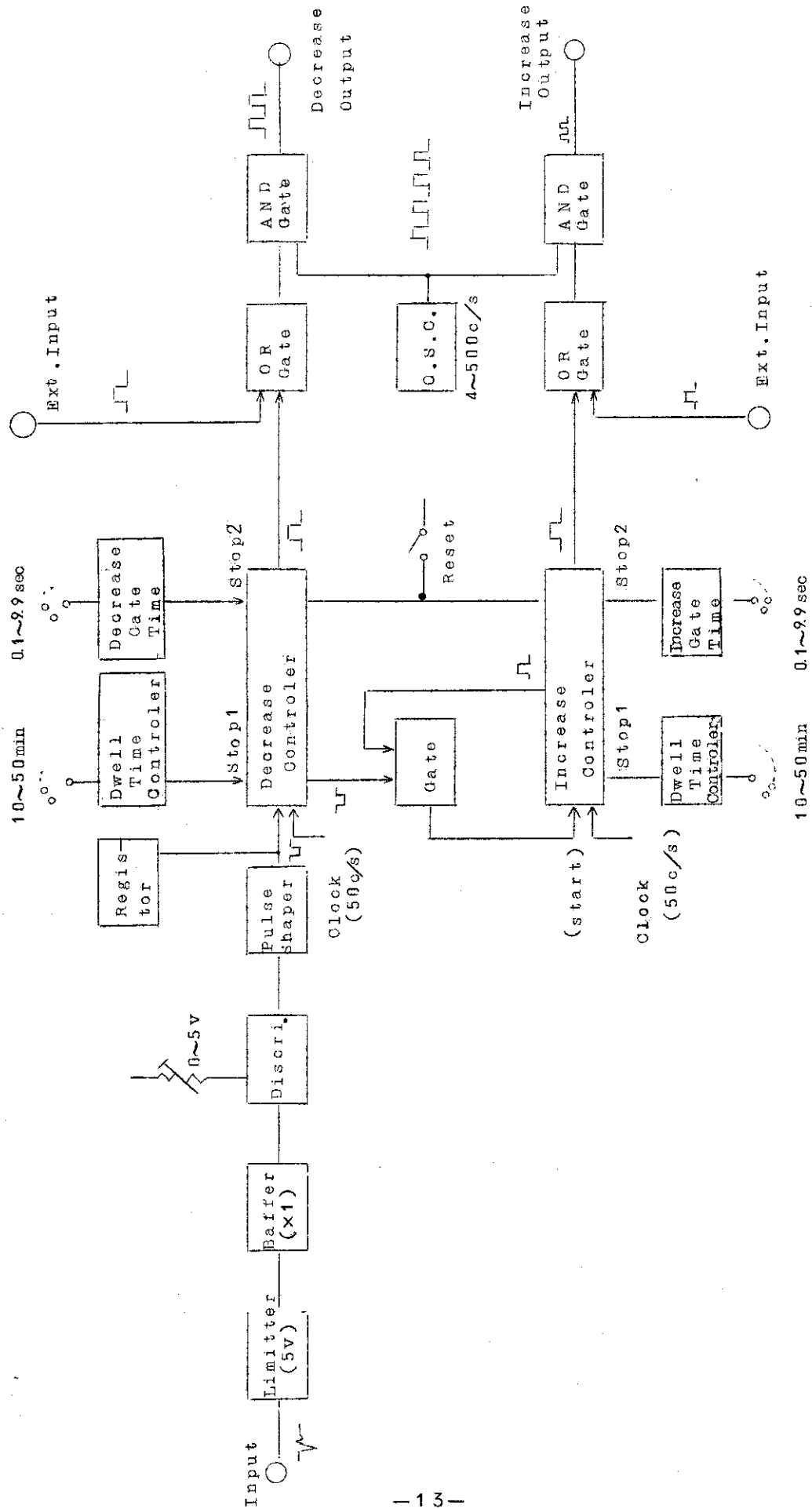


Fig.5 Control unit of the auto-conditioner.

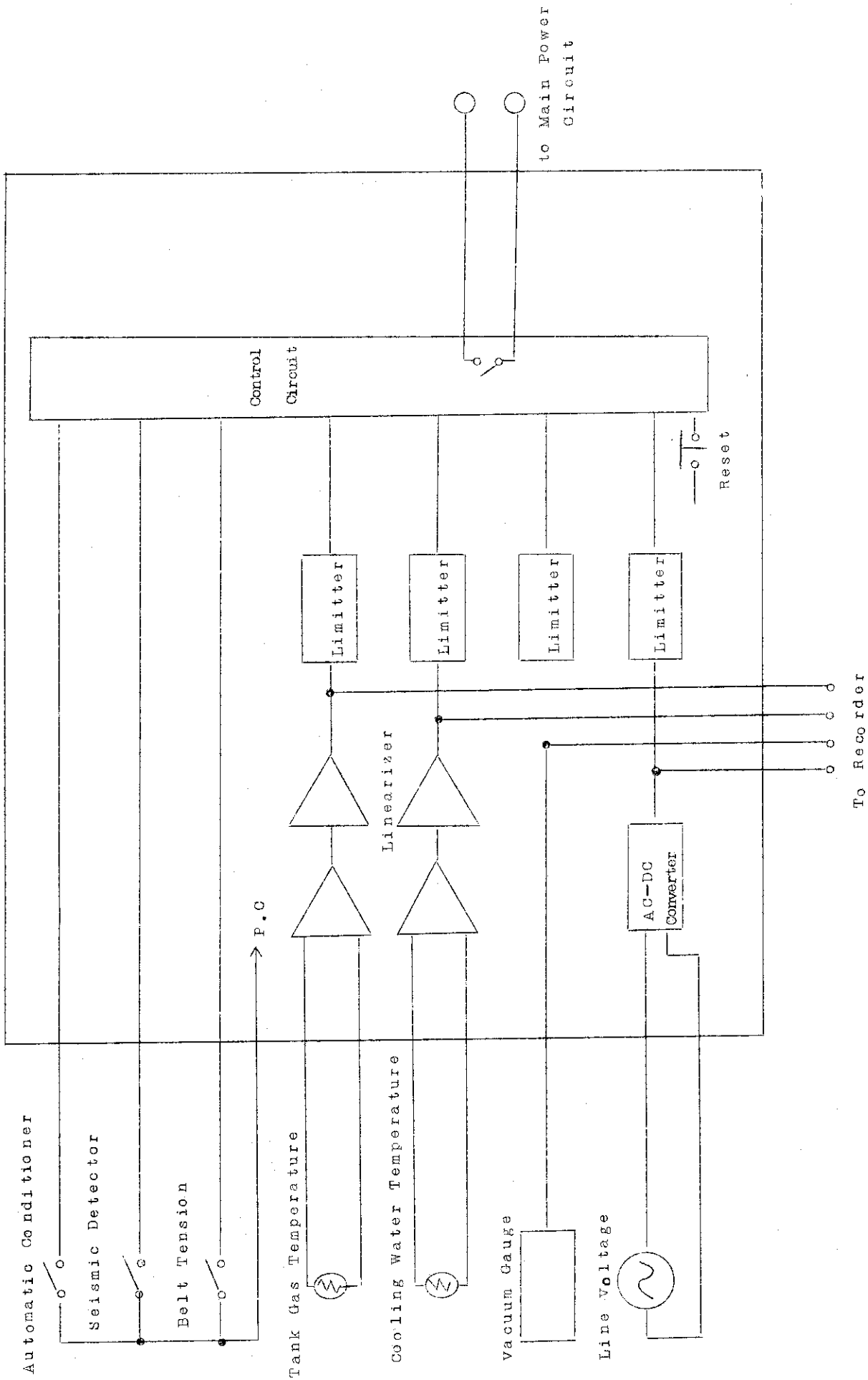


Fig.7 Block diagram of the safety device.

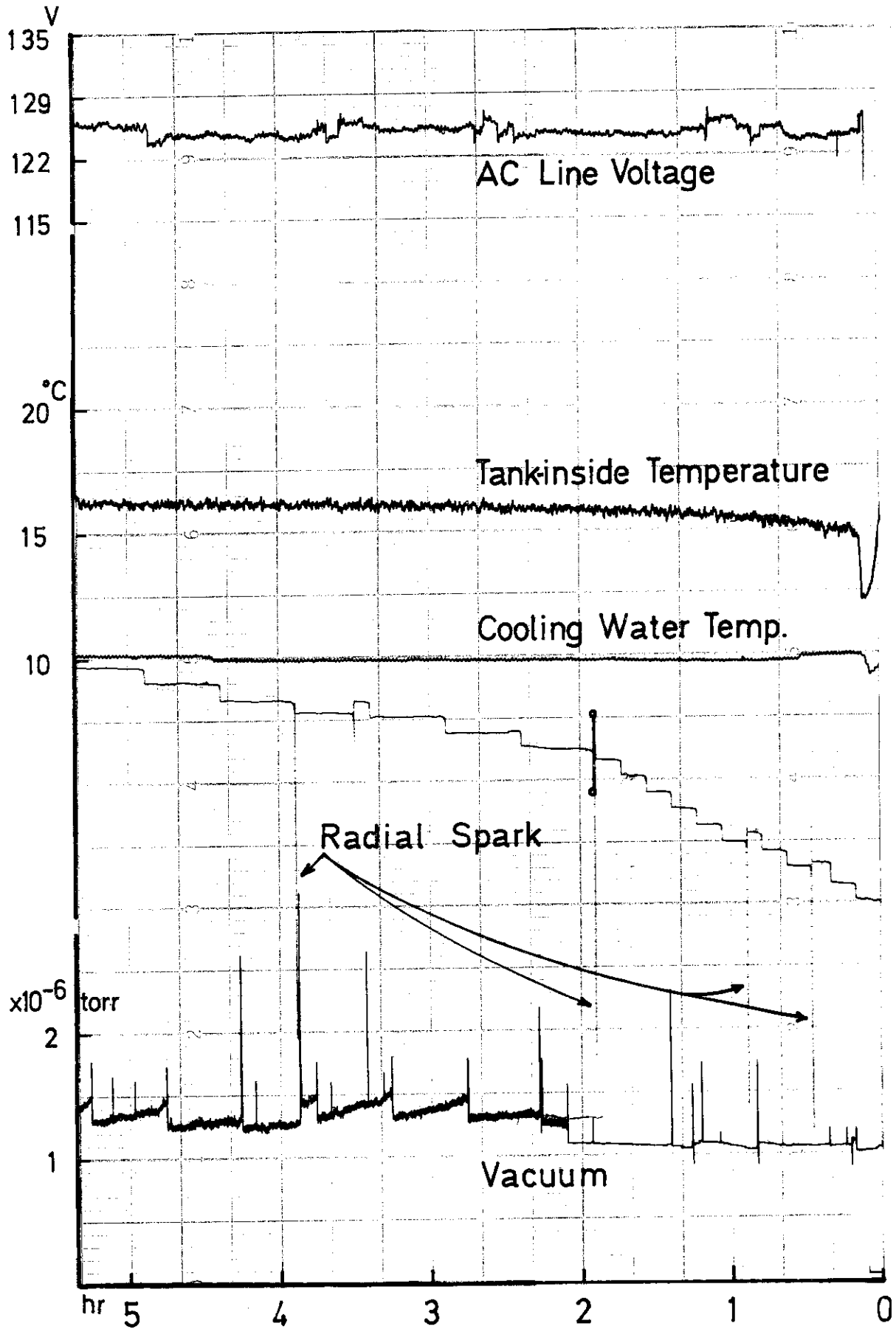


Fig 8 An example of the results of operation recorded by a pen recorder.

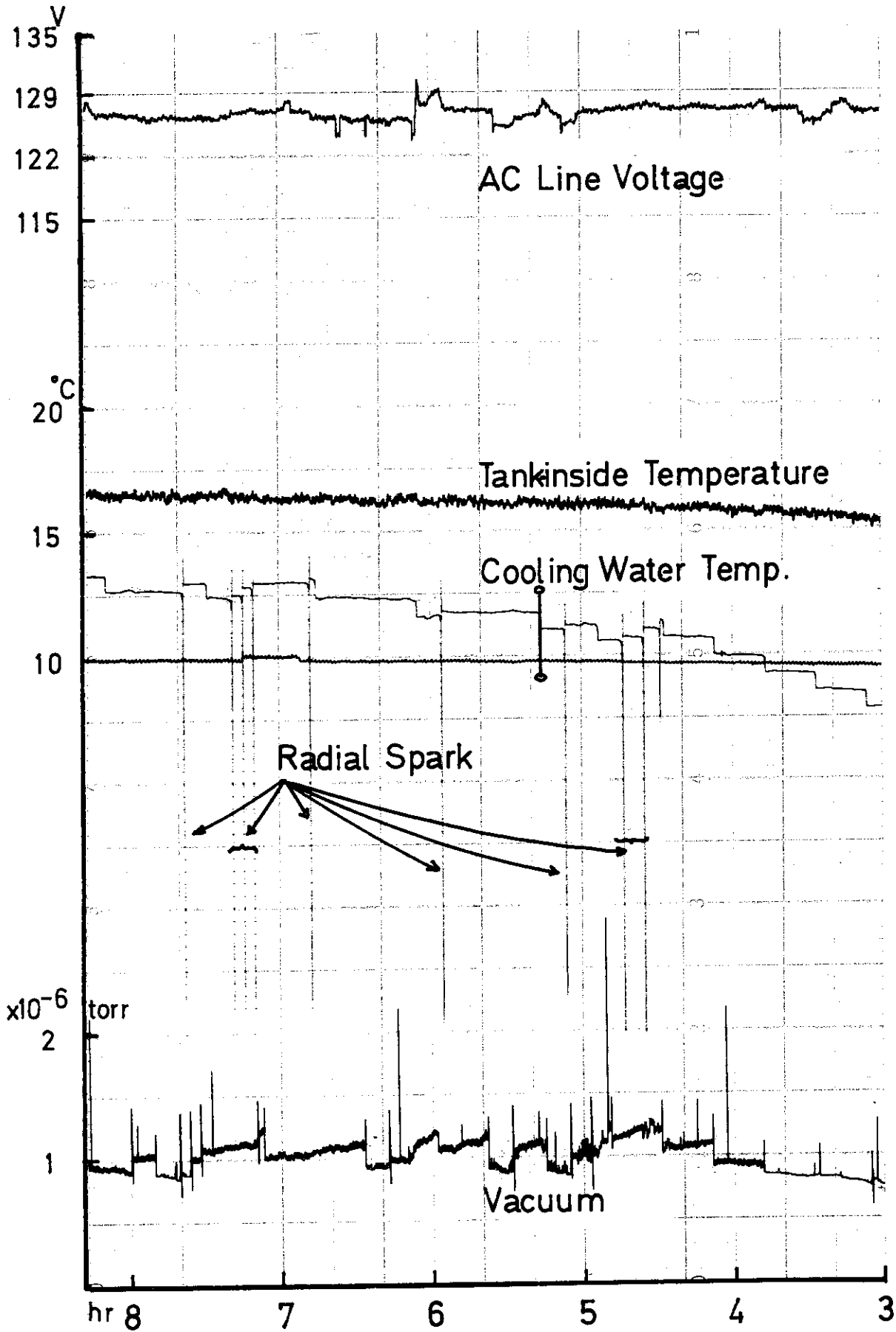


Fig. 9 Another example of the results of operation recorded by a pen recorder.