最近の富士電気集塵装置

設計部特殊機器課　古川　徹也
同　上　秋山　茂
同　上　古明地成光

Recent Features of Fuji Electrostatic Precipitator

By Tetsuya Furukawa, Shigeru Akiyama & Shigemitsu Komeiji

(Special Apparatus Div., Design Dep't.)

Synopsis

The capacity of electrical precipitator must be determined from the combined efficiency that is the rate of dust collection efficiency multiplied by the rate of operation. In order to increase this combined efficiency of the equipment, we have used recently the following systems.

1. The control system of electric source by the saturable reactor, which makes the stable operation possible under the severe condition in which the high voltage is applied and sparks occur frequently.
2. The electrical rapping system by the condenser connected to the electrodes. This makes no trouble of cohering of dust to the collecting electrode as well as the discharge electrode.
3. The improvement of collecting electrode and rapping system fitted for higher electric intensity and corona current.

As a result, the size of precipitating chamber has been reduced to a half of the usual installation with induction voltage regulator.

セレン整流器を使用する電気集塵装置では，放電電流を増し，安定した運転が得られるという特長をもっている．硫酸用の例では高い放電電流密度に耐えるように電極を改造して集塵室を従来の約2/3に縮少することができた[1]．これは IVR を用いる方式のほとんど限界の大きさであるということができるが，当社ではその後さらに可飽和リアクトルとコンデンサを併用する全く新しい制御方式を完成し好成績を得ている．すなわち集塵室に火花閃絡を頻発するような高い電圧を印加しても可飽和リアクトルの完全火花抑制作用により極めて安定に運転を継続することができ，しかもコンデンサの電気的槌打方式はダスト等の堆積固着による事故をほとんど無くしているので，条件によっては従前の IVR 方式に比べて集塵室を半減できるという優秀なものである．この方式は硫酸用の小規模のものから火力発電所用の大型のものに至るまでひろく応用できるので，以下にその概略を紹介する。

I. 集塵装置の総合効率と安定度

電気集塵装置は周知のごとく粒子およびガスの性質にほとんど無関係に極めて高い分離能力をもっていることから，今日まで各方面にひろく応用されてきたが，その反面 30～70 kV という直流高電圧を用いているため，従来の機械的整流機を使用するものではとかく保守および取扱いが容易でないということも指摘されていた．事実回転円板の閃絡事故あるいは高圧側電流制限抵抗の焼損などのために，運転中止を余儀なくされたということもしばしば耳にする問題であった。

電気集塵装置が生産設備の一環として使用されている現在，集塵器としての性能はこのように保守の難易も考慮して，次のごとき総合効率を以って吟味されねばならない．すなわち

総合効率＝集塵率×運転率

である．例えば集塵効率が 100% の装置であっても，これを保守するのに毎月3日間の運転休止を行なったとすれば，結果としては効率 90% の装置が連続運転を行なっているのと何等変る所がない．保守する側にしてみれば場合によっては多少常時の効率は悪くても連続して運転できる方がむしろ手が要らなくて使い易いということもできるのである。

この総合効率を上昇し，使い易い装置とするためには

運転の安定度を良くするとともに

常に最高の集塵率を維持する

ことが重要である．安定に運転できる装置では当然長く

連続運転が可能となり，運転率も向上するので，総合効率が良くなるわけである．この装置の安定性は次の2点により決定される。

1) 電気的安定度

高電圧を印加するに拘らず安定にコロナ放電を起し，もし何かの原因で火花閃絡を生じても瞬間的にこれを抑制し，絶対に電源を遮断するごとき事故を起さない。

2) 機械的安定度

電極の構造そのものが高い電界強度に耐えるものであり，合理的な槌打の下にダストの局部的堆積をなくし，安定に集塵作用を行なう。

II. 富士電気集塵装置の特長

高度の安定性と集塵率を保持し総合効率を向上するために，当社では次の方式を採用している。

1) セレン電源に可飽和リアクトル制御方式（特許）を採用している。

当社の可飽和リアクトルによる制御は完全な限流作用をもっているので，火花閃絡を頻発するような高電圧印加時においても火花電流を完全に抑制し，絶対に電源を遮断することなく極めて安定に運転できる．従来のIVR制御方式では閃絡の際に電源を遮断しなければならないので，非常に低い電圧しか印加できなかったが，この可飽和リアクトルを使用することにより火花閃絡を起しても電源を切る必要がなくなり，従来よりもはるかに高い電圧を印加することができ，かつ非常に安定に運転できるようになった。

2) 完全な槌打効果を期するための補助手段としてコンデンサによる電気的槌打方式（特許）を併用する。

このコンデンサは電極間に並列に挿入され，火花閃絡の際に瞬間的にその蓄積エネルギーを放出してダスト等の堆積固着物を破壊落塵せしめる．従来のごとく普通の槌打方式のみではその落塵作用を完全に行なわせることは極めて困難で，どうしても2～3個月の運転の後にはダストの堆積を免れることができなかったが，この電気的槌打方式は直接火花閃絡の原因となったところのダストを完全に除去し，火花閃絡を起す前の高い電圧を印加することができ，ほとんど運転中止に至るような事故を起さない。

当社の運転実績によれば可飽和リアクトルとコンデンサを併用する制御方式においては，従来の IVR 方式に比べて放電電流を約2倍に，運転電圧を約 20% 上昇することができ，この結果条件によっては集塵室をおよそ半分に節減することができる。

3) 次のような集塵電極および槌打方式を採用しているので，火花閃絡電圧を本質的に高くすることができ，安定した運転が得られる。

(1) 電界集中のない特殊な電極を用いているので他のものよりも閃絡電圧が高くまた槌打効果も良い。

(2) ガス流に平行に槌打を行なう方式は高電圧印加のまま槌打しても火花閃絡を起さず，全集塵極にわたって一様に強い衝撃を与えることができるので，部分的なダスト堆積が起らない。

(3) 多量のダストを処理する前室は常時自動槌打を行ない，後室は間歇に槌打を行なって高い集塵率を保持する。

III. 可飽和リアクトル制御方式

電気集塵装置の集塵能力を増すためには放電電流を増し印加電圧を高くしなければならない．従来のごとくIVR を使用する装置では，閃絡の都度電源を遮断したり整流機を破損するのでこの電流の増加は不可能であった．そこで当社では集塵室で火花放電を起してもすぐにこれを消滅させ電圧を復帰するという可飽和リアクトル制御方式を採用している．この方式によって初めて放電電流を増加し運転電圧を上昇することができるようになり，かつ非常に安定した運転が得られるようになったのである。

1. 可飽和リアクトルの原理と火花抑制作用

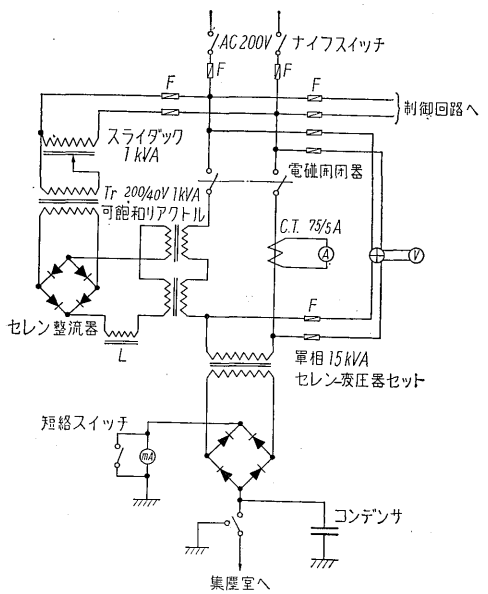
第1図は標準可飽和リアクトル制御結線図である．可飽和リアクトルは周知のごとく2個の矩形ヒステリシス鉄心におのおの直流および交流の巻線を施したもので，交流側はそのまま直列に，直流側は逆極性に直列に接続してある．当社標準のものでは特に直流制御回路に大きなLを挿入して，負荷変化等に対しても制御電流が絶対に変化しないように保持している．このため可飽和リアクトルはいわゆる拘束磁化状態として動作する．すなわち負荷電流が小さい時にはリアクトルは充分飽和しているので電源電圧はそのまま負荷にかけられるが，負荷電流が大きくなり制御ＡＴ以上に流れようとすると，リアクトルは飽和から解除されて大きなインピーダンスを示し，この制御ＡＴ以上の電流は流れることができない．したがって負荷電流は矩形波に近くなり

$$I_C \cdot N_C = I_L \cdot N_L \quad \cdots\cdots(1)$$

I_C；制御電流，N_C；制御巻数

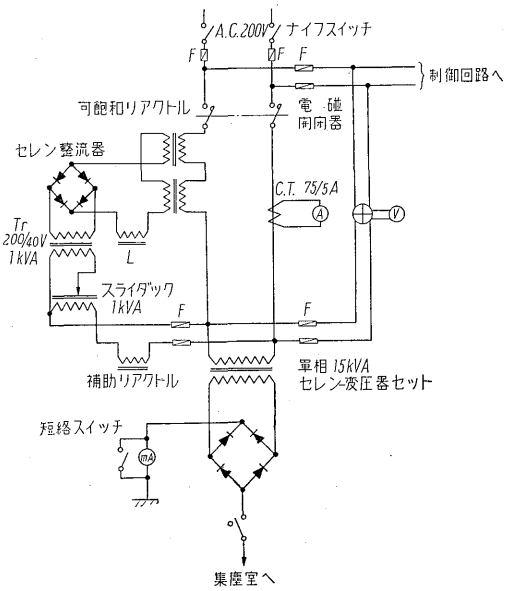
I_L；負荷電流，N_L；負荷巻数

といういわゆるアンペアターンの法則が成立する．負荷電流は(1)式により，制御電流に応じて変化するから，こ



第1図　富士標準可飽和リアクトル制御結線図

Fig. 1. Connection diagram of Fuji standard saturable reactor system



第2図　特殊可飽和リアクトル制御結線図

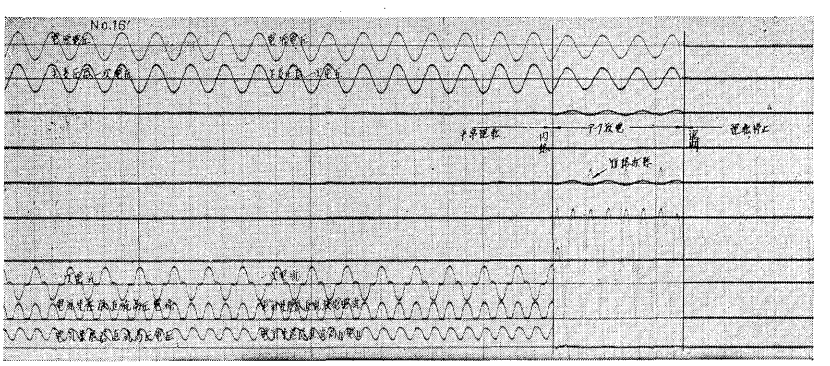
Fig. 2. Connection diagram of special saturable reactor system

の可飽和リアクトルを負荷電流，したがって負荷電圧の制御装置として使用することもできる。

この可飽和リアクトルを電気集塵装置の電源制御に用いる時の最大の特長は，火花放電電流の瞬間的完全抑制作用である．リアクトルの制御電流は負荷が瞬間的に短絡されても変化しないので，負荷電流も変化することがない．それまで負荷にかけられていた電圧は短絡と同時にリアクトルに移り，あくまでもこの一定電流に保持するのである．これに反し従来のVR 方式では火花閃絡と同時にアーク放電に移行し5～10倍にも達する短絡電流が流れるので，一旦電源を遮断しなければならない。

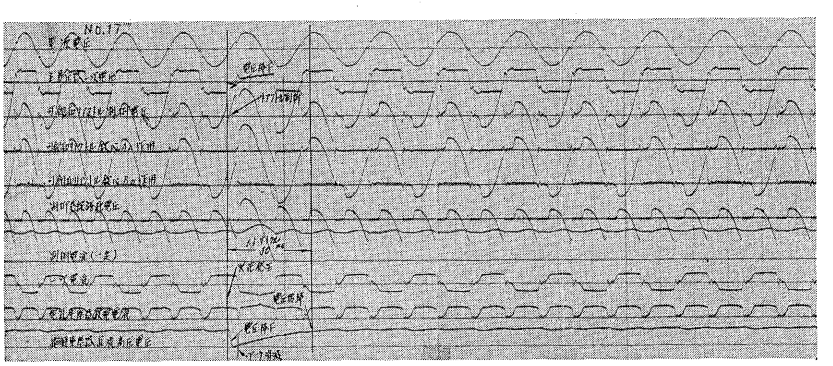
第3～4図は実際に運転を行なっている時のオシログラムである．第3図はIVR 方式の場合で，火花閃絡と同時にアーク放電に移行し数サイクルで遮断されている．これに対して第4図は標準可飽和リアクトル方式を用いた場合で，後述するコンデンサを併用している．同図では火花放電を起しても瞬間負荷電圧は零になり，放電電流は少しも変化していない．しかもアーク消滅後電圧の復帰には僅か 1.5％（30 ms）しか要していないので，連続して火花を発生するような苛酷な条件の下にあっても安定に運転を継続できる。

さらに本方式においては定常状態における電気集塵器電圧波形を平坦にし，実効の火花電圧を非常に高くすることができる．これは制御回路のLの作用によりリアクトルの負荷電流，したがって負荷電圧が矩形波に近くな



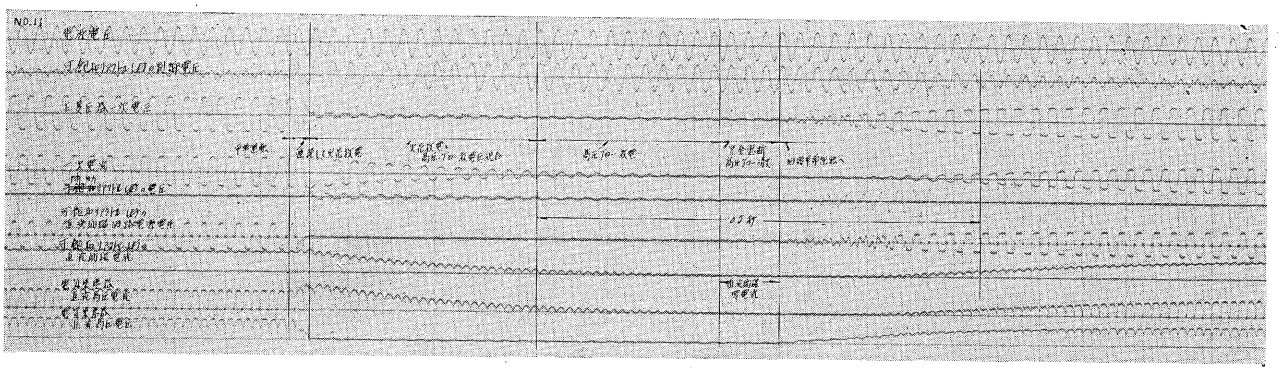
第3図　IVR 方式の場合のオシロ

Fig. 3. Oscillogram of IVR system



第4図　標準可飽和リアクトル制御によるオシロ

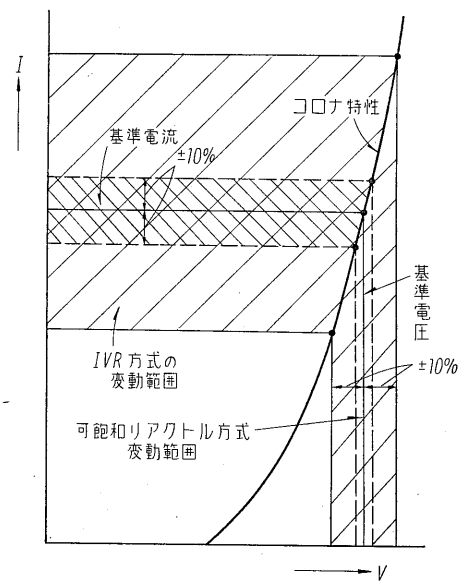
Fig. 4. Oscillogram of standard saturable reactor control



第5図　特殊可飽和リアクトル制御によるオシロ（自動アークトリップ回路）
Fig. 5. Oscillogram of special saturable reactor control (automatic arc trip circuit)

るためで，第4図のオシログラムでは集塵器電圧は全く平坦になっている。

なお可飽和リアクトル方式では電源電圧変動の影響をほとんど受けないという特長ももっている．第6図に示すようなコロナ特性に対しては IVR のごとくむしろ定電圧特性をもった電源を使用したのでは著しく電源電圧変動の影響をうけ，例えば電源電圧 10% 変動に対しコロナ電流の変動は ±40% にも達し，これにともなって運転状態も大きく変化していた．しかるに可飽和リアクトル制御では本質的に定電流特性をもっているので，コロナ電流が ±10% しか変化せず，負荷電圧に至っては僅か ±3% しか変化しない．したがって非常に安定した運転が得られる．さらに後述の特殊リアクトル方式（第2図参照）は電源電圧変動の影響を全くうけることがない。



第6図　電　源　制　御　原　理　図
Fig. 6. Principle of electric source control

2. 集塵器におけるグロー放電と自動消弧回路[2)]

第1図でコンデンサを併用せず単に可飽和リアクトルのみを用いる方式でも火花抑制短絡保護が完全に行なわれ，従来の装置に対して運転の安定度向上に非常に効果があった．しかしながら連続して火花を発生するような苛酷な条件の下にあっては，火花放電から直接いわゆる高圧グロー放電に移行することがある．すなわち火花閃絡と同時に運転電圧は3～5kV に下がったまま持続してしまうのである．この時電極の一部は暗橙色のグロー柱によって橋絡されており，他の部分では全くコロナ放電を起していない．IVR 方式の場合には短絡電流が 0.5～2A 程度にも達するので，むしろ白色に近い色を呈し，アーク放電に近いものとなるが，リアクトルを用いた時には電流は僅か 0.1～0.3A であり，間隙電圧も高くなる．このような放電はむしろ常圧の下におけるグロー放電に属するものということができる。

このグロー放電が持続している間は集塵作用を全く停止するので，速かに消滅させる必要がある．グロー放電は電流および電圧を持続条件以下に維持する時に不安定となって消滅する．このためコンデンサを使用しない場合，可飽和リアクトル制御方式では自動的にグローを消滅させ，もとの電圧に復帰させる制御部分を設けなければならない。

この作用を簡単にしかも完全自動的に行なわせる制御方式を第2図に示す．同図ではリアクトルの制御電源を負荷側に接続しているので，グロー放電に移行した時すなわち負荷電圧が低くなった時にはリアクトルの制御電流はほとんど零に制御されグローは消滅する．その後再び電圧を復帰して集塵を継続するのである．補助リアクトルはこの作用を完全ならしめるものである。

可飽和リアクトルあるいは磁気増幅器等によって電源の自動制御を行なう普通の方法では，1回の火花放電に

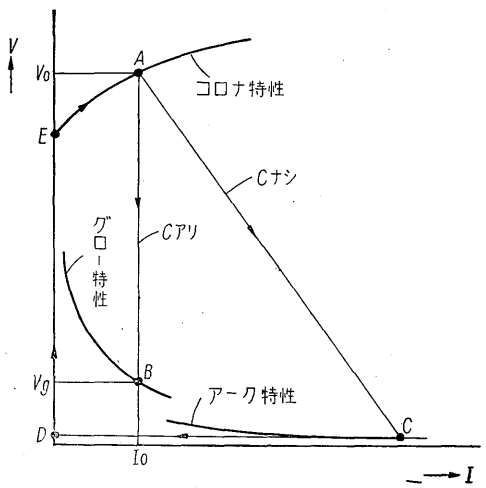
対して抑制消滅電圧復帰に要する時間は 0.5～3 秒程度である[3]．したがって連続して火花閃絡を起すような時には，電圧が印加されて集塵作用を行なっている時間よりも，リアクトルが制御している時間の方が長くなり，全体として実効の印加電圧が著しく低くなることがある．以上に述べた第2図の特殊リアクトル方式はこの点も考慮して第4図のオシログラムが示すように 0.5～1 秒という速い制御を行なうものであるが，現在ではタール回収用高炉ガス集塵用のように，次に説明するコンデンサ方式を採用できない集塵器にのみ使用されている。

IV. コンデンサの作用と火花抑制運転[2]

一般のダストコットレルに対する当社の標準方式は，可飽和リアクトルとコンデンサを併用する第1図のものである．これは僅か 0.03 秒のうちに火花抑制，グロー消滅，電圧復帰をするという高速の制御を行なうので，いかに火花閃絡を起しても安定に運転でき，さらにコンデンサによる電気的槌打作用という著しい特長をもっているので，総合効率を向上する上に非常に効果がある。

1. コンデンサの消弧作用

本方式は第1図に示すように可飽和リアクトルと，電極間に並列にコンデンサを併用するものである．このコンデンサは火花閃絡の際に高圧グローに移行することを防止し，さらに火花閃絡の原因となったダストの堆積物を完全に除去せしめて火花閃絡以前の安定な運転状態に戻す作用をする．以下にこれを説明しよう。



第7図 消 弧 原 理 図
Fig. 7. Principle of glow-quenching

すなわち第7図において E—A の線をコロナ特性とすれば E 点はコロナ開始の点を表わし定常状態の運転点は A で表わされる．ここで火花閃絡が起ると，もしコンデンサが無い場合には，リアクトルの完全限流作用のために，閃絡と同時に B 点へ飛び，I_0-V_g という高圧グロー放電状態を持続することになる．しかるに電極間にコンデンサが存在すると閃絡に際してコンデンサの放電をともない，電源からの供給電流は I_0 であっても間隙に流れる電流は数百Aにも達し（C 点），放電電圧は V_g に比べて充分低くなり，コンデンサの放電完了とともに消滅してしまう（D 点）．その後は電源電流はすべてコンデンサの充電に費され，電圧が V_g に達した時には間隙はすでに充分絶縁を回復している．したがってそのまま D—E—A を経てもとの運転状態に復帰する．この動作を示すオシログラムは第3図であるが，消弧には1～2 ms，閃絡から電圧回復までには僅か 30 ms しか要しないという完全な制御を行なっている。

2. コンデンサの電気的槌打作用

コンデンサを併用する時のさらに大きな特長はその電気的槌打作用である．閃絡の際に瞬間的に放出するコンデンサのエネルギーは相当に大きなもので，電極に堆積固着したダストを完全に破壊落塵せしめる能力をもっている．筆者らは電極にセメント，フライアッシュ等を水で固めた突起物を作り，過電圧を印加して火花閃絡を起させてみた所，数秒にも足らぬ間に完全に落塵除去されてしまった．このような突起物はもちろん従来のごとき槌打によっては全く落すことができないものである．実際のダスト固着はこれ程にかたまっていることはないので集塵器内では1回の放電によっても相当量のダストを落すことができると考えられる。

コンデンサは以上のように強い落塵作用をもっているので，直接火花発生の原因となったダスト固着物を完全除去し，その後は再び高い電圧を印加することができる．したがってこのコンデンサによる電気的槌打作用を機械的槌打作用と併用するならば，たとえダスト等の堆積によって一時的に閃絡電圧が低下しても，その堆積物を除去し，もとの高い閃絡電圧に復帰するので，定期掃除以外にダスト堆積のための事故による運転中止はほとんど無くなり，常時高い電圧を印加し長く連続運転が可能となる。

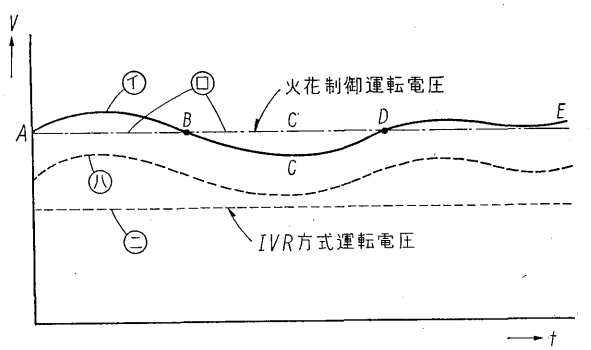
3. 火花抑制運転

上述のように当社の標準方式は可飽和リアクトルとコンデンサを併用するものである．以下に本方式を用いる時の運転状態についてもう少し詳しく説明しよう。

第8図は集塵器の運転状態の変化を時間的に記録したものである．実線①はこの集塵器の閃絡上限電圧（この電圧ならば連続して閃絡するという電圧）を表わし，粗

い点線㈠で閃絡下限電圧（この電圧以下では絶対に閃絡しない電圧）を表わすものとし，ともに図のように集塵器の状態に応じて変化していると仮定しよう．したがって供給電圧が閃絡下限電圧を越すと火花閃絡が起り始め，閃絡上限電圧に至って連続閃絡状態になり，この間の電圧においては通常電圧の上昇とともに閃絡頻度が増すという傾向がある．従来の IVR 方式では閃絡したら電源を遮断せねばならないので，運転電圧は㈢のように閃絡下限電圧以下に設定せざるを得ない。

しかるに本方式では火花閃絡を起しても安定に運転でき，しかも閃絡電圧低下の原因を無くす作用をもっているので，例えば㈡のように運転状態を設定することができる．すなわち A—B 間では時々閃絡を起しながら運転し，B—D 間では本来ならば運転が不可能であったが，コンデンサの落塵作用によってかえって実効の閃絡電圧を上昇することができ，B—C'—D という高電圧安定運転が可能となるのである。



第8図　運　　転　　図
Fig. 8.　Diagram of operation

このように本来ならばダスト堆積のために電圧を下げて運転するはずの所を，コンデンサの電気的槌打作用によって火花閃絡の発生を抑制し，高い電圧印加のまま運転するので，これを火花抑制運転と呼んでいる。

第8図㈢と㈡とでは実際にどの程度違うものか，すなわち火花抑制運転の効果は実際にどの程度のものかを示す運転実績の一例は第1表のごとくである。

本表によってこの方式を用いる時にはいかに運転の安定度が向上し，集塵率も良くなるかが理解できよう。

第1表　運　転　状　態　の　比　較
Table 1.　Comparison of operation

	運転電圧	放電電流	集塵効率
IVR 方式	41.4kV	40 mA/室	85%
富士標準方式	52.3kV	95 mA/室	95%

注）れいずれも富士標準単相全波 10kVA セレン整流器電源を使用している。

V.　機械的安定度の向上

電気集塵器の運転電圧の上限は一般には火花閃絡電圧によって決まる．したがって高度の安定度をもった装置とする最も根本的な解決策は，火花閃絡電圧そのものをできるだけ高くすることである．以下に当社の方式を説明しよう。

1.　集　塵　電　極

集塵極としては全体が可及的平坦であるものが望ましいことは言をまたない．従来のごとくいわゆる横打ち式槌打法においては，厚み方向の衝撃に対する補強が必要で，例えば火力発電所用のごとく大規模な集塵器では，極板ピッチ 250mm に対し補強ビームの厚さは 100～150mm にも達する．このようなビームは集塵空間を著しく狭くし電界を乱し渦流を作るなど種々の欠点をもっている．当社ではこのような根本的な欠陥を除くために，後述するごとく集塵極の槌打を平面の方向に行なっている．これによれば厚み方向の強度はほとんど必要としないので，この補強ビーム等を省くことができ，集塵空間には少しの凸部も作らず閃絡電圧を著しく上昇することができる。

2.　集塵電極槌打方式

集塵極を平板の方向に槌打する方式では電界方向の振動がほとんど無い．したがって電界を乱すことなく高電圧印加時に槌打を行なっても火花閃絡を起さないので常に極板を清浄に保つことができる．また槌打は各集塵極毎に 2～4 個の重錘を以って行なうので，全集塵極にわたって一様な衝撃を与えることが極めて容易であり，一部にダストが堆積するような不都合が皆無となった。

3.　集塵電極槌打自動方法

電気集塵器では集塵電極に堆積するダスト量は，ガス流に対し入口の部分に極端に多く，後の方はほとんど堆積しない．普通の条件で集塵室の前の方に堆積するダストの量は 1cm/hr 以上にも達する．したがって 1 時間もの間槌打を行なわない時には，集塵室の前の方においてはダスト堆積層に費される電圧が異常に高くなり，肝心の集塵空間にはごく僅かの電圧しか印加されておらず，集塵が不充分になるとともに閃絡電圧が著しく低下するのである。

これに対して当社では集塵室の前室は常時槌打を行なってダストの不当な堆積をさけながら多量のダストを処理し，後室は前室連続槌打による効率の低下を補い常に

高い集塵率を維持するために間歇的に槌打を行なっている．このように集塵機能を明瞭に分離しているので各集塵室がそれぞれその最高の能力を発揮できる最も合理的な方式であるということができる。

VI. 結　　言

電気集塵器では周知のごとく粒子に働く集塵力はある条件の範囲で集塵空間の電界強度のほぼ自乗に比例して強くなる．そこでわれわれは高効率の装置とするために少しでも高い電圧を安定に印加できるように努力を続けている．この努力は従来の IVR による電圧制御方式に代って次の二つの新しい自動方式を発展させた。

1) 負荷の集塵器の状況に応じた電圧を印加するように，閃絡電圧を検出しながら自動的に電圧を調整する。

2) 負荷の集塵器を常に最高の状態で安定に働かせるように閃絡電圧低下の原因までも無くしながら自動的に電圧を調整する。

最近各方面におけるオートメーション化の声と共に，集塵器においても漸く第1の段階に属するものとして種種の試みがなされているが，この第2の段階に属するものは未だ寡聞である．[4] しかしながら電気集塵器にあってはこの第2の段階こそ最も根本的かつ最も完全な自動化であると思う．ここに紹介した可飽和リアクトル制御方式とコンデンサによる電気的槌打方式は第2の段階に属する唯一のものとして，集塵器の発展に対し非常に積極的な方式であると自負するものである。

本稿では単に当社の新方式の紹介のみにとどまったが，後に機会を得て本方式についての細部を報告し需要家各位の御批判を仰いで今後の参考に資することができれば幸である。

参考文献

1) 古川，古明地；富士時報 Vol. 30, No.2, p 88 (1957)

2) 古川，秋山，古明地；電学論文集 32-11 No.148

3) D. Ertl & R. Weppler; Energie Ja. 9. Nr. 1 s. 4～9 (1957)

4) H.J. Hall; Comm. & Elcs. May· 1954. p. 124

励弧型単極変流装置の励弧装置

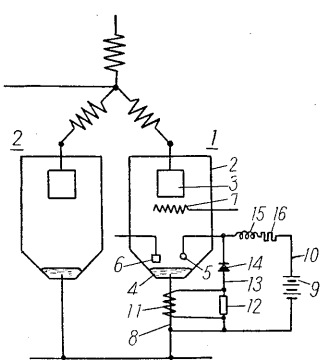
（特公昭 32—2864）

発明者　甲　斐　弘　道

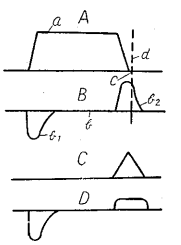
この発明は瞬時的な過負荷等により，励弧が消滅するのを簡単でしかも確実に防止するもので，主電流回路に挿入された変流器あるいはリアクトルにより，主電流の各周期における電流の立上りと，消滅時における電流変化に基づくインパルスを発生させ，このインパルスの中一方を電流消滅時に励弧極回路に対して励弧極の極性に合わせて重量させるものであります。

第1図で5は単極放電槽1の励弧極，9は常時励弧電源，11は本発明によって設けられたインパルス発生用変流器です．第2図Aのaは主電流の変化で，bは変流器2次の電圧変化を示します．このうち b_2 が励弧電源9の電流と重畳して励弧電流を形成するもので，たとえば励弧電圧が 10 V とすると，変流器2次は前記励弧電圧が 10 V になるまで電流を増大して陰極点の電子放出を強力にするものであります．作動時の電流状況は第2図Cで，電圧状況はDです．さて電圧 b_2 は主電流 a の周期的零点通過時 c 付近において最大値をとりそれが第2図Dで示されるように約 10 V に抑制されるのであるから電流はC点付近で最大となり，通常の励弧消滅点 d 付近における常時励弧電流の減少を，インパルス電流によって良好にカバーし得るのであります。

なおインパルスが常時励弧回路に侵入するのを防止するため，インピーダンスあるいは抵抗 16 を接続します。



第 1 図



第 2 図

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。