

論 文

交流方形波電源を用いた除電器

多田 泰芳*, 村田 雄司**

(1983年8月27日受付)

Static Charge Eliminator with a AC Square Wave Source

Y. TADA* and Y. MURATA**

(Received August 27, 1983)

A new static charge eliminator with A.C. square-wave voltage whose duty factor is variable was developed and an examination was made of whether the eliminator is effective compared with the conventional eliminator with sine-wave voltage. Applying the square-wave voltage and sine-wave voltage (both frequency is 50 Hz) to the corona electrode of the eliminator respectively, the ion current from the electrode to a collecting electrode biased D.C. voltage was measured. The plus and minus ion currents by the square-wave which have the same peak voltage were about 1.4 and 1.5 times as large as those by sine-wave which have the same peak voltage as the square-wave. The plus and minus ion currents by the square-wave whose duty factor is 0.60, is 0.60 had the same absolute value. Using the square-wave voltage whose duty factor is 0.60, any charged body at rest would be completely discharged. From the charge eliminating test of a running PP film with velocity 4 cm/s, the surface charge of the film was found to be eliminated completely by choosing the duty factor of the square-wave appropriately according to the initial surface potential. It was proved that though the square-wave form is not perfect, the new eliminator with the square-wave has higher eliminating power and better controllability than the conventional eliminator with sine-wave.

1. 序 論

帯電した物体の電荷を除去する有力な一手段として、コロナ放電式除電器がある。それにはいくつかの種類があるが¹⁻³⁾、それらのうち、除電性能の高いものは、高電圧電源を用いて作ったイオンにより帶電電荷を除去する方式のもので、電源の種類により交流式除電器と直流式除電器とに分かれる。

従来の交流式除電器は、その電源として昇圧した商用交流を用いており、その1周期で正負両イオンを発生する。そして、帶電電荷と逆極性のイオンに除電作用をさせ、同極性のイオンに逆帶電を防ぐ働きをさせるという、いわば自己制御性を有している。そのため、この交流式除電器は、帶電電荷の極性に無関係に除電できるの

で、一般に広く利用されている。しかしながら、次のような欠点ももっている。

(1) 商用交流のような対称交流によるコロナ放電は負イオンを正イオンよりも多く発生するので、被除電体の除電後の残留電位を負にする傾向をもっており、負の帶電に対しても本質的に十分な除電ができない。

(2) 除電に有効なイオンの発生時間が半周期の一部分しかないので、直流式除電器に比べ、イオン発生量が少しく除電性能が低い。

一方、直流式除電器は単一極性のイオンを多量に発生するので、それと反対極性の帶電に対する除電性能は非常に高いが、放電電圧を適切に調整しないと、被除電体を逆帶電させてしまう。また、帶電電荷の極性が反転する場合は、放電電極へ印加する電圧の極性も反転しなければならないという煩雑さをもっている。以上のような欠点を有するため、直流式除電器はほとんど使用されていない。

そこで、帶電電荷の極性のいかんにかかわらずに能力・精度ともに高い除電器を作るためには、従来の交流式の欠点を改良するか⁴⁾、直流式に自動制御機能を付加することが考えられる⁵⁻⁷⁾。本研究は前者に関するものであり、除電に用いる電圧波形として、デューティ比可変

* 群馬工業高等専門学校電気工学科(371 前橋市鳥羽町 580)
Department of Electrical Engineering, Gunma Technical College, 580, Toriba-cho, Maebashi, 371

Japan

** 東京理科大学理工学部電気工学科 (278 野田市山崎東亀山 2641)
Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo, 2641, Higashi-Kameyama, Yamazaki, Noda, 278 Japan

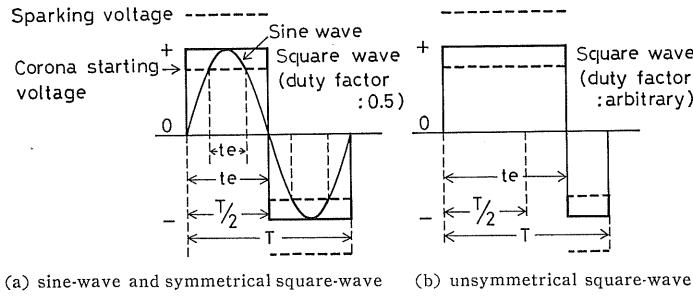


図 1 コロナ放電と電圧波形

Fig. 1 Corona discharge and voltage wave forms.

の高電圧交流方形波を発生させ、これを用いた新しい除電器が、従来の昇圧した商用交流（正弦波とみなす）を用いた除電器に比べ、有効であるかどうかを知ることを目的としている。以下において、上記の方形波および正弦波のおのおのを用いた除電器の、静特性および動特性を測定し、それらの比較検討を行なった。

2. 原 理

交流方形波を除電に用いた場合に考えられる利点をあげると、次のようなになる。

(1) 図 1(a)に示すように、ピーク電圧がコロナ放電開始電圧よりも高い対称方形波（デューティ比 0.50）のコロナ放電に有効な電圧の持続時間 t_e は、正負両電圧の場合とも半周期 $T/2$ であるが、この方形波と同一ピーク電圧の正弦波の t_e は、正負の場合とも $T/2$ の一部分である。したがって、対称方形波は正弦波よりも正負両イオンとも多く発生する。

(2) 図 1(b)に示すような非対称方形波において、そのデューティ比を正電圧の t_e が負電圧の t_e よりも適当に長くなるようにすると、1 周期間 T における正負両イオンの発生量を等しくすることができます。さらに、デューティ比を変えることにより、正負両イオンの発生量を望む比率にすることもできる。

正弦波にかえて用いる電圧波形としては、上述したデューティ比可変の交流方形波のほかに、デューティ比は一定の正負両電圧をおのおの独立に可変できる方形波も考えられる。しかしながら、この方形波を用いて正負両イオンの発生量を不平等にしようとするとき、発生量を多くしたいイオンと同一極性の電圧を高くしなければならず、この電圧は火花放電開始電圧によって制限を受けるので、この方形波では十分な除電能力が期待できない。

3. 実験装置および方法

3.1 高電圧電源

デューティ比可変の高電圧交流方形波を発生させるた

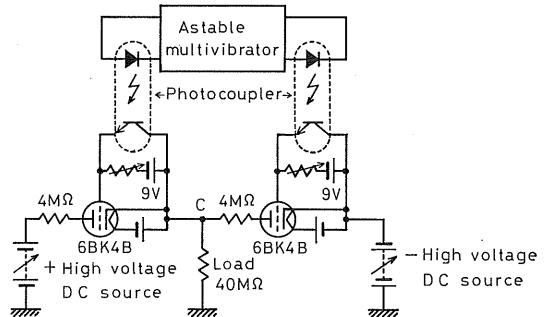


図 2 高電圧交流方形波電源の概略

Fig. 2 Schematic diagram of high voltage A.C. square-wave source.

めに試作した電源の概略を図 2 に示す。高電圧直流電源としては、正、負いずれの場合も、フライバックトランスを使用する方式のもの（電気音響、HV302003）を、フォトカプラとしては、発光ダイオードとして TLR103（東芝）、フォトトランジスタとして PT5L（NEC）を用い、耐圧が 10 kV 以上になるよう試作したものを用いている。この電源の動作原理は以下のようである。正および負の高電圧直流電源を 3 極管のアナログスイッチで交互に切り換える、その周期に応じた高電圧交流方形波を図 2 の C 点で示される箇所に発生させる。アナログスイッチの切換えは、フォトカプラを通して、非安定マルチバイブルエタにより行なう。したがって、この方形波の周期およびデューティ比は、非安定マルチバイブルエタのそれらによって決定される。試作電源の仕様は、周波数 50 Hz、ピーク電圧 0.5~6.8 kV 可変、デューティ比（正波形の幅を 1 周期の幅で割ったものと定義する）0.70~0.30 可変である。

高電圧の正弦波を発生する電源は、商用交流 (50 Hz) 電源に接続したスライドトランスおよびネオントランスより構成されている。

3.2 除電器の静特性

除電器のコロナ電極から、直流バイアス電圧を印加した金属平板電極に流入するイオン電流とその直流バイアス電圧との関係を除電器の静特性と名づけることにする。ここで、バイアス電圧を印加した金属平板電極は模擬帶電体であり、そのバイアス電圧は模擬帶電体の電位であると考えることができる。また、イオン電流をゼロにするバイアス電圧は、静止している実際の帶電体を除電したときの、その残留電位とみなすことができる。

高電圧の交流方形波、直流（正、負の直流を、おののおの、デューティ比 1.00, 0.00 の方形波とみなす）および正弦波のおののおのを発生する電源を用いて除電器を構成し、それらの静特性を測定することによって、次のことがわかる。

- 1) 方形波を静止している実際の帶電体の除電に用いた場合、除電後の残留電位がゼロになるようなデューティ比（ニュートラルなデューティと称することにする）はどんな値か。

- 2) 残留電位がデューティ比によってどのように変わるか。

- 3) 方形波は正弦波に比べてイオン発生量がどのくらい多いか。

静特性の測定装置を図 3 に示す。集電極は 20 mm × 200 mm の金属平板で、これに直流バイアスを印加して、模擬帶電体とする。ガード電極は集電極の表面付近の電界を均一にするために置かれている。集電極に接続する直流電流計でこの電極に流入するイオン電流を測定する。コロナ電極は木綿針を 20 mm 間隔で 10 本直線上面に並べたものであり、高電圧の方形波または正弦波を発

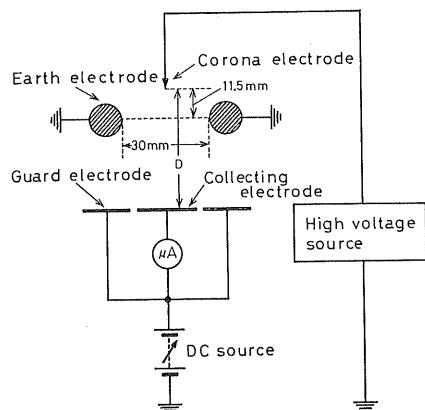


図 3 除電器の静特性測定装置

Fig. 3 Experimental arrangement for the measurement of the static characteristics of the charge eliminator.

生する電源に接続される。2 本の接地電極は、ともに直径 13 mm、長さ 220 mm の金属棒で、常にコロナ電極からの放電を維持してイオンを安定に発生させる作用をする²⁾。

3.3 除電器の動特性

一定の速さで走行するプラスチックテープをあらかじめ帶電させ、その後除電したときの、テープ面の除電前の初期電位と除電後の残留電位との関係を除電器の動特性と名づけることにする。

実際の被除電体はある速さで運動している場合が多い。このような被除電体に対する方形波（直流も含む）と正弦波の除電能力を比較するために、それらを用いた除電器の動特性を測定する。

除電器の動特性測定装置を図 4 に示す。荷電用コロナ電極および除電用コロナ電極は、ともに直径 50 μm、長さ 40 mm のステンレススチール線である。荷電用コロナ電極には高電圧の正または負の直流電圧が印加される。除電用コロナ電極には高電圧の交流方形波(50 Hz)、正、負の直流または正弦波電圧(50 Hz)が印加される。表面電位計 1, 2 は振動電極方式のもので、その振動数は 500 Hz であり、1 は荷電用コロナ電極により帶電させたテープ表面の初期電位を、2 は除電用コロナ電極により除電した後の残留電位を測定するためのものである。

4. 実験結果

4.1 静特性

図 3 のコロナ電極に加える実際の電圧およびそれによって生じる集電極に流入するイオン電流の例を図 5(a)～(c)に示す。図(a)はピーク電圧が 5.6 kV でデューティ比が 0.50 の方形波、(b)は同じピーク電圧でデューティ比が 0.67 方形波、(c)は同じピーク電圧の正弦波の場合の

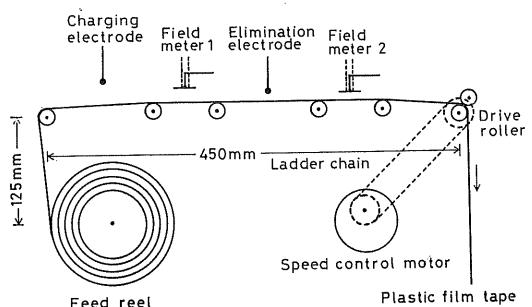


図 4 除電器の動特性測定装置

Fig. 4 Experimental arrangement for the measurement of the dynamic characteristics of the charge eliminator.

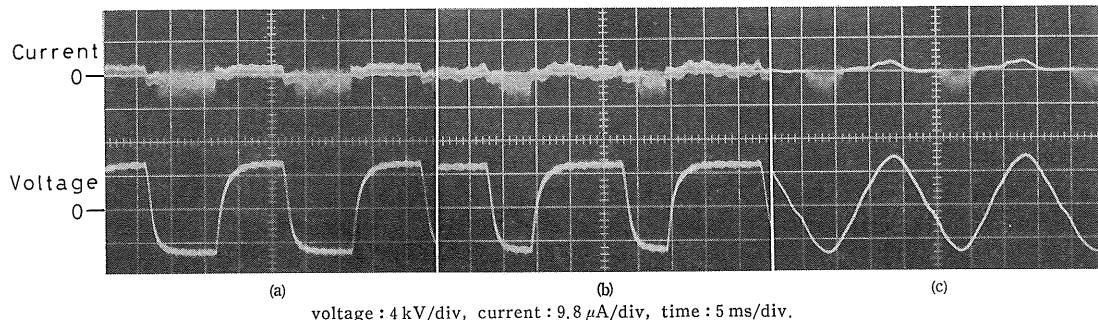


図 5 コロナ電極に加える電圧と集電極に流入するイオン電流

Fig. 5 Voltage applying to the corona electrode and ion current flowing into a collecting electrode.

波形であり、いずれの場合も、直流バイアスをゼロとしたときのものである。電圧波形を見ると、方形波、正弦波の波形とも、図1に示されるような理想的な波形ではない。方形波電圧の波形は立上り立下りが悪く、また、平坦部の線幅が太い。正弦波電圧の波形も歪んでいる。この方形波電圧の波形の立上り立下りが悪いのは、図2に示した方形波電源を構成している高电压直流電源の内部インピーダンスと負荷抵抗によって形成される時定数が大きいためである。

このように実際の方形波は立上り立下りが悪いため、理想方形波の場合と異なり、コロナ放電に有効な電圧の持続時間 t_0 が正および負の電圧の全区間にわたらない。たとえば、図 5(a)に示されているデューティ比が 0.50 の方形波の場合、電圧波形の負の部分とそれに対応する放電電流波形の負の部分を比較すると、 t_0 が負電圧の全区間の約 86% となっている。また、方形波電圧波形の平坦部の線幅が太いのは、方形波電圧のもとになっている直流電圧に含まれているリップル分 (20 kHz) が、そのまま方形波に現われたためである。リップル分のある方形波は、同じピーク値のリップル分のない方形波に比べて、平均電圧が低くなるので、イオン発生量も少なくなる。

イオン電流波形を見ると、方形波による場合は正負の部分とも、正弦波による場合は負の部分において、反対極性の電流がわずかに現われている。これは、放電電流に、電極間容量による容量性電流が重畠しているためである。また、方形波による電流の正部分の線幅は正弦波による電流の正部分の線幅よりもかなり太い。これは、方形波がリップル分を含むためである。さらに、デューティ比 0.50 の方形波による電流の負の部分と正弦波による電流の負の部分とを比較すると、この方形波の t_e は正弦波の t_e の約 1.4 倍であることがわかる。

以上述べたところにより、実際に用いる方形波は、理想的な波形ではなく、理想方形波に比べるとイオン発生

量が少ないが、それにもかかわらず、正弦波に比べるとイオン発生量がかなり多いので、帶電体の除電においても、正弦波より有効であると思われる。以下において、方形波とは、理想方形波のことではなく、改めて、図5に示すような実際の方形波であるとする。

コロナ電極に印加する方形波および正弦波の例として、ピーク電圧が 5.6 kV で、デューティ比が 1.00(正の直流), 0.67, 0.60, 0.50, 0.33, 0.00(負の直流)である方形波のそれぞれと、それらと同一ピーク電圧の正弦波を用いた場合の、除電器の静特性を測定し、その結果を図 6 に示す。この静特性より、イオン電流をゼロに

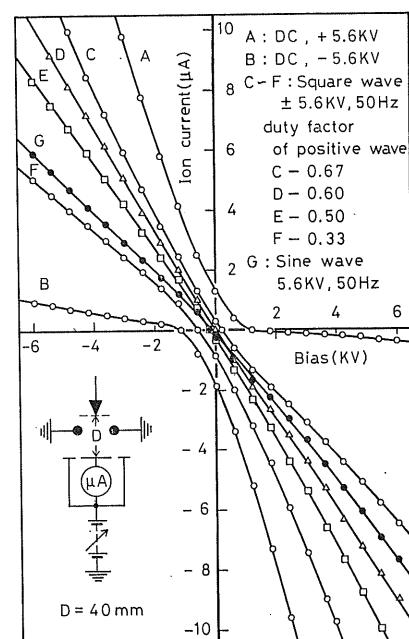


図 6 除電器の静特性

Fig. 6 Static characteristics of the charge eliminator.

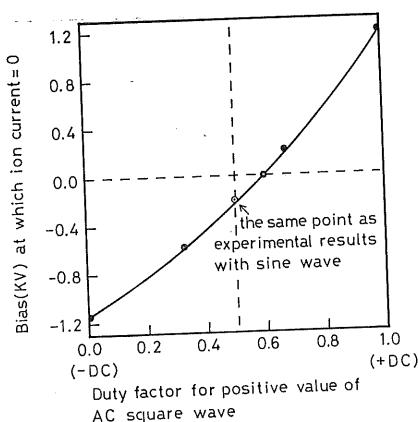


図 7 方形波のデューティ比とイオン電流をゼロにする直流バイアス電圧との関係

Fig. 7 Relation between duty factor of square-wave and D.C. bias voltage where ion current become zero.

するバイアス電圧が方形波のデューティ比によってどのように変化するかを求めるとき、図7のようになる。この図を見ると、イオン電流をゼロにするバイアス電圧がゼロとなるような方形波のデューティ比、すなわち、ニュートラルなデューティ比が0.60であることがわかる。この方形波のときは、正および負のイオン電流の大きさが等しい。正弦波の場合にイオン電流をゼロとするバイアス電圧は約-0.2 kVで、これはデューティ比が0.50の方形波の場合にイオン電流をゼロとするバイアス電圧と同じであり、このことを図7の中に示す。

方形波のイオン発生量が正弦波に比べてどのくらい多いかを知るために、図6の静特性より、一例として、バイアス電圧が±2.4 kVのそれぞれの場合につき、方形波によるイオン電流と正弦波によるイオン電流との比が

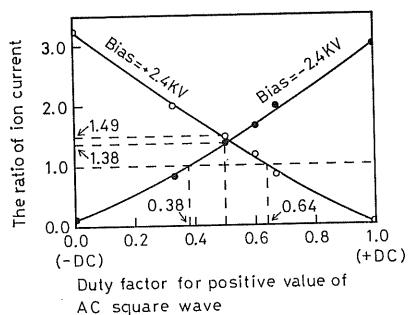


図 8 同一バイアス電圧における方形波によるイオン電流に対する正弦波によるイオン電流の比

Fig. 8 The ratio of ion current by sine-wave to ion current by square-wave at the same bias voltage.

方形波のデューティ比によってどのように変わるかを求めるとき、図8のようになる。この図より、デューティ比が0.50の対称方形波によるイオン電流は、正弦波によるイオン電流に比べて、バイアス電圧が2.4 kVの場合に約1.5倍、-2.4 kVの場合に約1.4倍も多いことがわかる。なお、方形波によるイオン電流が正弦波によるイオン電流と等しくなるような方形波のデューティ比を求めてみると、バイアス電圧が2.4 kVの場合0.64、-2.4 kVの場合0.38となる。

4.2 動 特 性

除電対象としては、幅20 mm、厚さ5 μmの、裏面がメタライズされているPP(ポリプロピレン)テープを用いた。テープの走行速度は5 cm/s、荷電用コロナ電極および除電用コロナ電極とテープ面との距離はそれぞれ26 mm、10 mmとした。正弦波およびニュートラルなデューティ比(0.60)の方形波のピーク電圧を4.8,

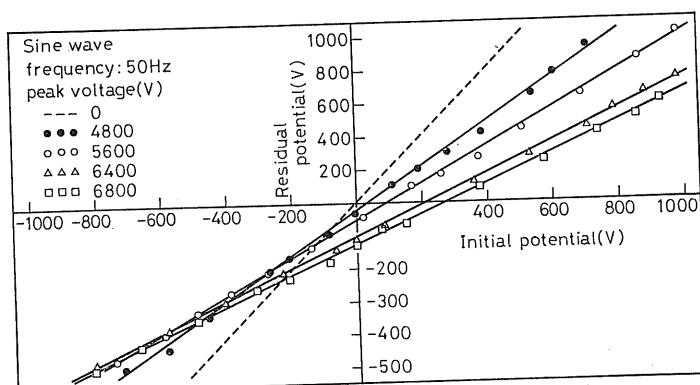


図 9 正弦波を用いた除電器の動特性

Fig. 9 Dynamic characteristics of the charge eliminator with sine-wave voltage.

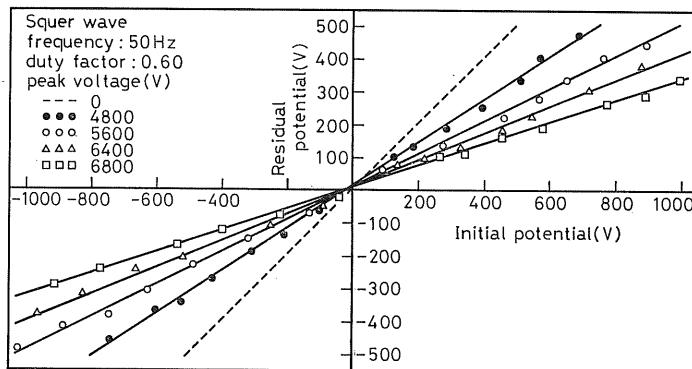


図 10 デューティ比 0.60 の方形波を用いた除電器の動特性

Fig. 10 Dynamic characteristics of the charge eliminator with square-wave whose duty factor is 0.60.

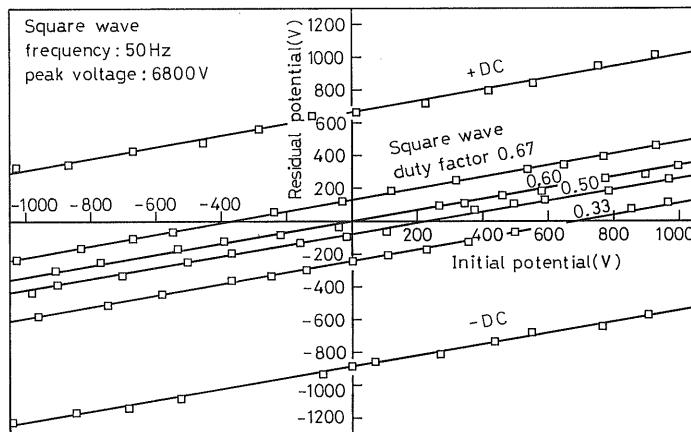


図 11 種々なデューティ比の方形波を用いた除電器の動特性

Fig. 11 Dynamic characteristics of charge eliminator with square-wave of various duty factors.

5.6, 6.4, 6.8 kV と変え、それらのおののおのを用いたときの除電器の動特性を測定し、正弦波の場合の結果を図 9 に、方形波の場合の結果を図 10 に示す。図 9, 10 の両方において、動特性曲線はほぼ直線であり、その傾きは除電用コロナ電極に印加する除電電圧が高くなるほど小さくなっている。また、除電電圧が同じときには、デューティ比がニュートラルな方形波を用いた場合の特性曲線の傾きは正弦波を用いた場合のそれよりも小さい。さらに、デューティ比がニュートラルな方形波を用いた場合は、曲線が除電電圧のいかんにかかわらずほぼ原点を通っているのに対して、正弦波を用いた場合のほうは、曲線と横軸との交点が除電電圧の増加に伴い原点より右へ移動している。

次に、方形波のピーク電圧を 6.8 kV 一定とし、デューティ比を 1.00 (正の直流), 0.67, 0.60, 0.50, 0.33,

0.00 (負の直流) と変え、それらのおののおのを用いたときの除電器の動特性を測定し、その結果を図 11 に示す。方形波のデューティ比が変化すると、それに対応して、動特性曲線がほぼ平行移動している。

5. 考 察

5.1 除電器の除電性能

運動している実際の除電対象においては、帶電電位は、時々刻々変化し、極性まで変わることがよくある。したがって、除電器としては、初期電位のある一定の変化に対して、できるだけ残留電位の変動幅を小さくでき、その平均値をゼロに近づけることができる能力をもつことが望まれる。

図 9, 10 に示されている動特性において、傾きがより小さい特性曲線は、より大きい特性曲線に比べて、初期

電位の同じ変化に対して、残留電位の変化がより少ないことを示している。したがって、正弦波およびニュートラルなデューティ比の方形波の場合とも、除電電圧が高くなるほどそれらに対する特性曲線の傾きが小さくなるので、残留電位の変動幅を小さく抑えられることがわかる。また、同じピーク値の除電電圧では、方形波に対する特性曲線の傾きは正弦波に対するそれに比べ小さいので、方形波のほうが正弦波よりも残留電位の変動幅を小さく抑えられることがわかる。たとえば、ピーク電圧が6.8 kVのときは、初期電位の1,000 Vの変動に対して、方形波の場合の残留電位の変動は330 Vであるのに比べて、正弦波の場合のそれは450 Vである。

さらに、図9の動特性において、特性曲線が横軸上の原点より右側にある点を通っているということは、実際の除電において、初期電位の変動の平均値がその点に対応した正のある値のときに残留電位の変動の平均値がゼロになることを意味している。また、図10の動特性において、特性曲線が原点を通っているということは、初期電位の変動の平均値がゼロのとき残留電位の変動の平均値もゼロになることを意味している。したがって、正弦波を用いた場合は、除電電圧がより高くなるほど、特性曲線が横軸を通過する点が原点より右側へ移動するので、正弦波の除電能力は、除電電圧がより高いほど、正帯電のほうへ偏ることになる。これに対して、ニュートラルなデューティ比の方形波を用いた場合は、除電電圧のいかんにかかわらず、特性曲線が原点を通っているので、この方形波の除電能力は、除電電圧の大きさによらず、正負両帶電に対して同等である。

5.2 除電器の制御性

図11から、デューティ比可変の交流方形波を用いた除電器は、被除電体の初期電位の変動の平均値に応じて、方形波のデューティ比を変え、動特性曲線を適当に平行移動することにより、残留電位の変動の平均値をゼロにすることができるということがわかる。また、図11には、直流というものが方形波のデューティ比を特別にした一例にすぎず、その除電能力が正帯電または負帯電のほうへ極端に偏っていることがよく示されている。

被除電体の帯電電位の変動範囲全域にわたってより厳密な除電をすることが必要な場合は、どの除電方式を用いるにしても自動制御機構を取り入れなければならない。しかし、従来の直流式あるいは交流式にこの機構を取り入れると、次のような欠点を生ずる。直流式では、被除電体の帯電極性の変化まで考慮すると機構がかなり複雑になる^{5,6)}。また、交流式には、被除電体の帯電電位に応じて除電に必要なイオン量を得るのに、たとえば、発生したイオンを帯電電位に応じて大きさが変化するス

リットを通すという方式のものもあるが⁷⁾、いずれにしてもこの方式は、本質的に負イオンの発生量のほうが多いので、負極性帯電の除電には適さない。それに対して、交流方形波を用いる方式では、除電電圧は変えずに、方形波のデューティ比を制御するだけですむので、機構が簡単になると考えられる。

6. 結論

デューティ比可変の高電圧方形波を発生する電源を試作した。この方形波は完全な方形波ではないが、これを用いた新しい除電器と、従来からの直流および正弦波のおのを用いた除電器の静特性および動特性を測定し、比較検討を行なった。その結果、次の事柄が明らかになった。

(1) デューティ比が0.50の対称方形波は、同一ピーク電圧の正弦波に比べて、正負両イオンとも多く発生する。

(2) 方形波のピーク電圧を一定にしてそのデューティ比のみを変えたときには、それを用いた除電器の動特性曲線は平行移動するだけでその傾きは変わらず、しかも、それは同じピーク電圧の正弦波を用いた除電器の動特性曲線の傾きより小さい。したがって、どのデューティ比の方形波も、同じピーク電圧の正弦波に比べ、被除電体の残留電位の変動幅をより小さく抑えることができる。

(3) この方形波は、そのデューティ比をニュートラル(0.60)にすることにより、被除電体が静止している場合は、それが初めどんな帯電電位をもっていたとしても、その残留電位を0 Vにすることができる。また、被除電体が走行している場合にも、その初期電位の変動の平均値が0 Vならば、その残留電位の変動の平均値を0 Vにすることができる。さらに、デューティ比を適当に選ぶことにより、被除電体が走行していて、しかも、その初期電位の変動の平均値が正または負のいずれか一方へ偏っている場合であっても、その残留電位の変動の平均値を0 Vにすることができる。

(4) 直流は、デューティ比が特別な値の、除電能力が正帯電または負帯電のほうへ極端に偏っている方形波と考えてよい(デューティ比が1.00の場合は正の直流、0.00の場合は負の直流)。

(5) 初期電位の変動幅が大きい場合に、その全域にわたってより厳密な除電を行なうためには、自動制御機構をもった除電器を構成する必要があるが、このことに対しても、この方形波が適していると考えられる。

以上、交流方形波による除電は、その波形が完全ではないにもかかわらず、能力の高さおよび制御性のよさと

いう点で、直流や正弦波による除電よりも、基本的にすぐれていることが確かめられたので、初期の目的を達成することができたと考える。

なお、この方形波を用いて実際の除電を行なうに当たっては、被除電体の初期電位の変動幅、その平均値および走行速度を考慮し、方形波の周波数、デューティ比、電圧および除電電極と被除電体表面との間隔を適切に選ぶ必要がある。

参考文献

- 1) 木脇久智：電気試験所研究報告，582 (1960) 45

- 2) 高分子学会編：静電気ハンドブック，p.377，地人書館 (1968)
- 3) 橋高重義：プラスチックの帶電防止，p.156，日刊工業新聞社 (1968)
- 4) S. Larigaldie and N. Giboni : J. Electrostat., 10 (1981) 57
- 5) 村田雄司，多田泰芳，大谷幸典，近藤秀樹，橋高重義：静電気学会講演論文集'77, p.29, 静電気学会 (1977)
- 6) 横山成昭，村田雄司，高橋 清，橋本秀雄，磯田清之：静電気学会誌，7 (1983) 124
- 7) A.R. Blythe : *Static Electrification 1975, Conf. Ser.* 27, p.238, Inst. Phys., London and Bristol (1975)