

高電圧セレン整流装置の電圧分布

Voltage Distribution of the High Voltage Selenium Rectifier

諫 早 典 夫* 森 山 昌 和**
Fumio Isahaya Masakazu Moriyama

内 容 梗 概

電気集塵装置用直流高圧電源として、セレン整流器を使用すれば、寿命が半永久的で、騒音、電波障害もなく、制御、保守が容易であるなど、従来の機械的整流機に比べ多くの利点が得られるが、整流素子を多数直列に接続するので、整流器の特性や組立構造が適当でないと、直列整流素子相互間の電圧分布が不均一となり、長期間の運転中には絶縁破壊をおこすおそれがある。

本稿においては、この電圧分布に及ぼす整流器逆抵抗と漂遊静電容量との関係を理論的に解析するとともに、多くの試作実験による検討の結果、電圧分布の均一化に最も有利な素子特性、組立構造を決定し得たことを述べている。

1. 緒 言

電気集塵装置用直流高圧電源としては、従来回転円板式の同期火花整流機が使用されていたが、セレン整流器の著しい進歩改良の結果、これを使用して高性能かつ信頼性の高い静止型高電圧整流装置が実用化され、すでに各国ともセレン整流器方式に移行しつつある。

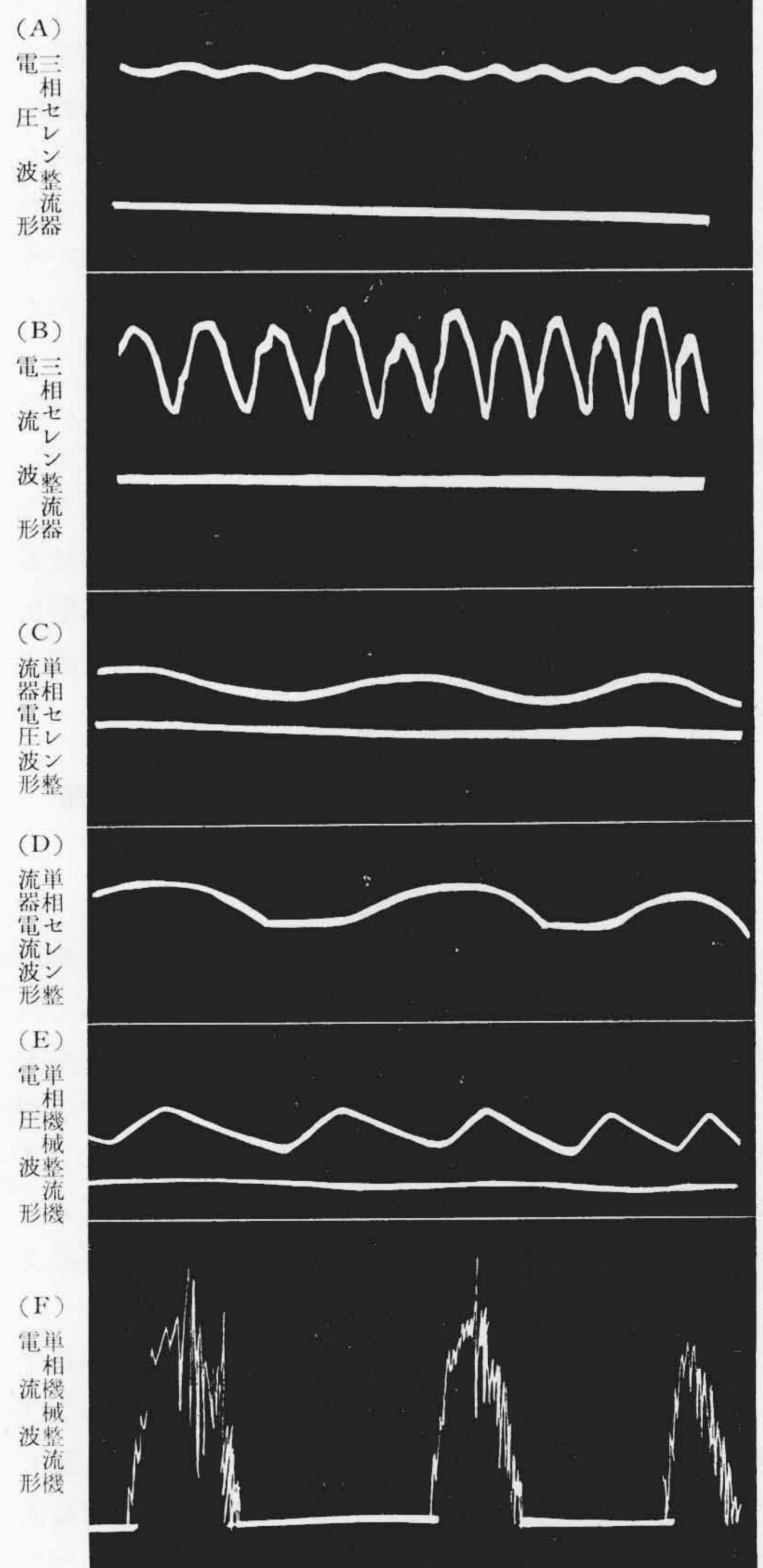
セレン整流器を使用した直流高圧電源装置は

- (1) 寿命は半永久的である。
- (2) 静止型であるので騒音がなく、ほとんど保守点検を要しない。
- (3) 整流時にアークを生じないので電波障害がなく、直流波形がよいので常時運転電圧を高くして集塵率を上げることができる。第1図はその整流波形を回転円板式整流機と比較したものである。
- (4) 電氣的能率がよい。
- (5) 電源変圧器と整流器とを同一油タンクに収めてあるので、据付、制御、保守が容易である。

など、多くの特長を有しているが、整流素子を多数直列に組合せるので、素子相互間の電圧分布が不均一となり、寿命に悪影響を及ぼすおそれがある。われわれはこの現象を理論的に解析するとともに、多くの実験によつて、電圧分布を均一にするためのセレン素子特性ならびに組立て構造を検討して、十分信頼性のある装置を製作している。以下この電圧分布の問題について概要を述べる。

2. 高電圧セレン整流装置の電圧分布

セレン整流器を電気集塵装置のような高電圧に使用するとき最も注意しなければならないのは、直列に接続される各整流素子の分担電圧をできるだけ均等にするものである。もしこれが不均一であると、特定の素子にのみ



第1図 セレン整流器および機械整流機の整流波形の比較

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所国分工場

過大な電圧がかかり、長時間運転中にはその素子を破壊する危険がある。

分担電圧の不均一を生じる原因としては、次の二つが考えられる。

(1) 逆電流は直列素子全部にほぼ同様に流れるので、素子の逆特性にばらつきがあれば、当然それぞれが分担する逆電圧が不均一になる。すなわち、素子自身の逆特性によるもの。

(2) 各素子相互間および素子と大地電位にある物体間には漂遊静電容量があるので、その静電容量によって各部分担電圧が不均一になる。すなわち、整流体組立構造や、外部条件によるもの。

分担電圧を均一にするには、まず逆特性のばらつきをなくすことが先決で、このためには素子自体の特性を改善しなければならない。日立セレン整流装置は、厳重な品質管理によつて製作された素子のうち、特に逆特性の一樣なもののみを選択して、一組の整流装置に組み込んでいるので、逆特性の差による分担電圧の不均一はきわめてわずかである。また日立セレン整流器は、特性が非常に安定しているので、長年月の使用期間中にもこの不平衡の増大は認められない。

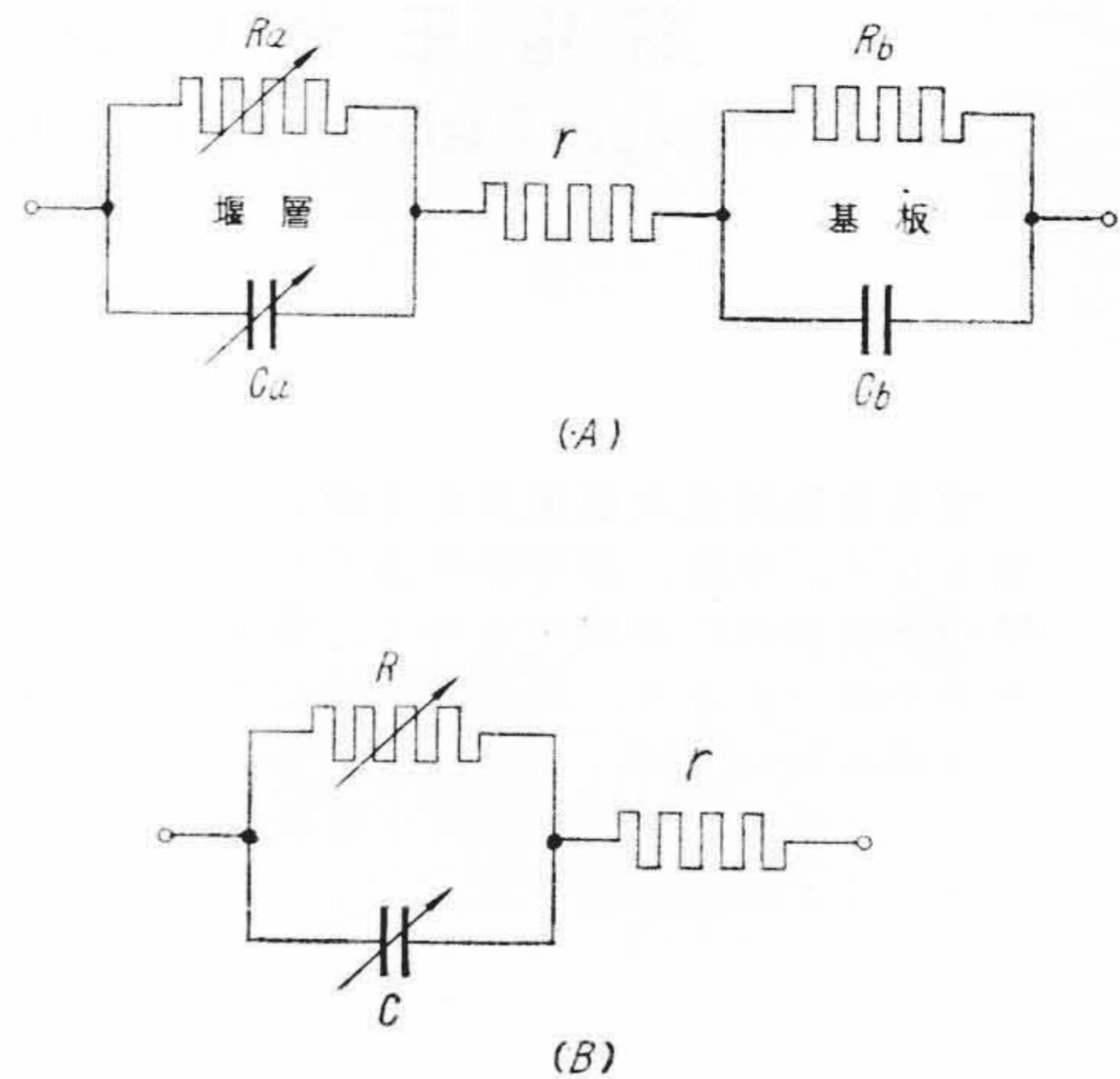
しかし素子自身の逆特性が均一な場合においても、装置全体の構造が不適當であれば、前記第2項の静電容量の影響が大きくなり、これによる電圧分布の不平衡が問題となつてくる。日立製作所では、この問題を、整流器逆抵抗と静電容量との関連において検討し、理論的解析を行うと同時にいろいろ実験を重ねた結果、両者の適当な組合せや最も適当な素子配置などを決定している。

3. 整流器逆抵抗および静電容量の電圧分布に及ぼす影響

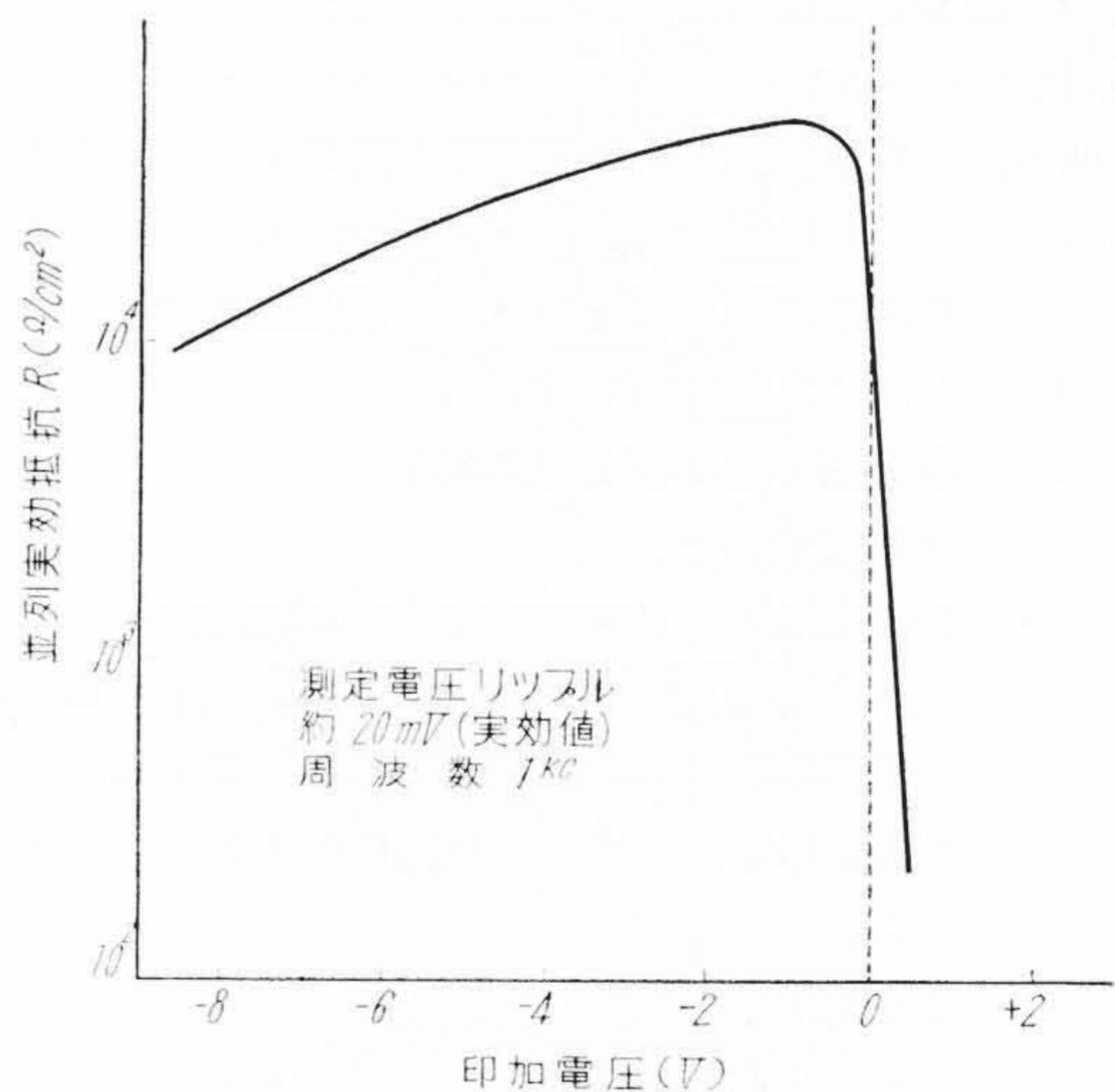
3.1 セレン整流素子の電気的特性

セレン整流素子は、電気的には抵抗と静電容量とからなる第2図(A)、(B)のような等価回路と考える(1)。(A)において R_a は堰層の抵抗で、印加される電圧の大きさおよび極性によつて大幅に変化する。 r はセレン層の厚み方向の抵抗を、 R_b は電極の接触抵抗を示す。基板および対電極の抵抗は非常に小さいので無視してさしつかえない。 C_a は堰層の静電容量で電圧の大きさにより著しく変化する。 C_b は電極間静電容量を示す。

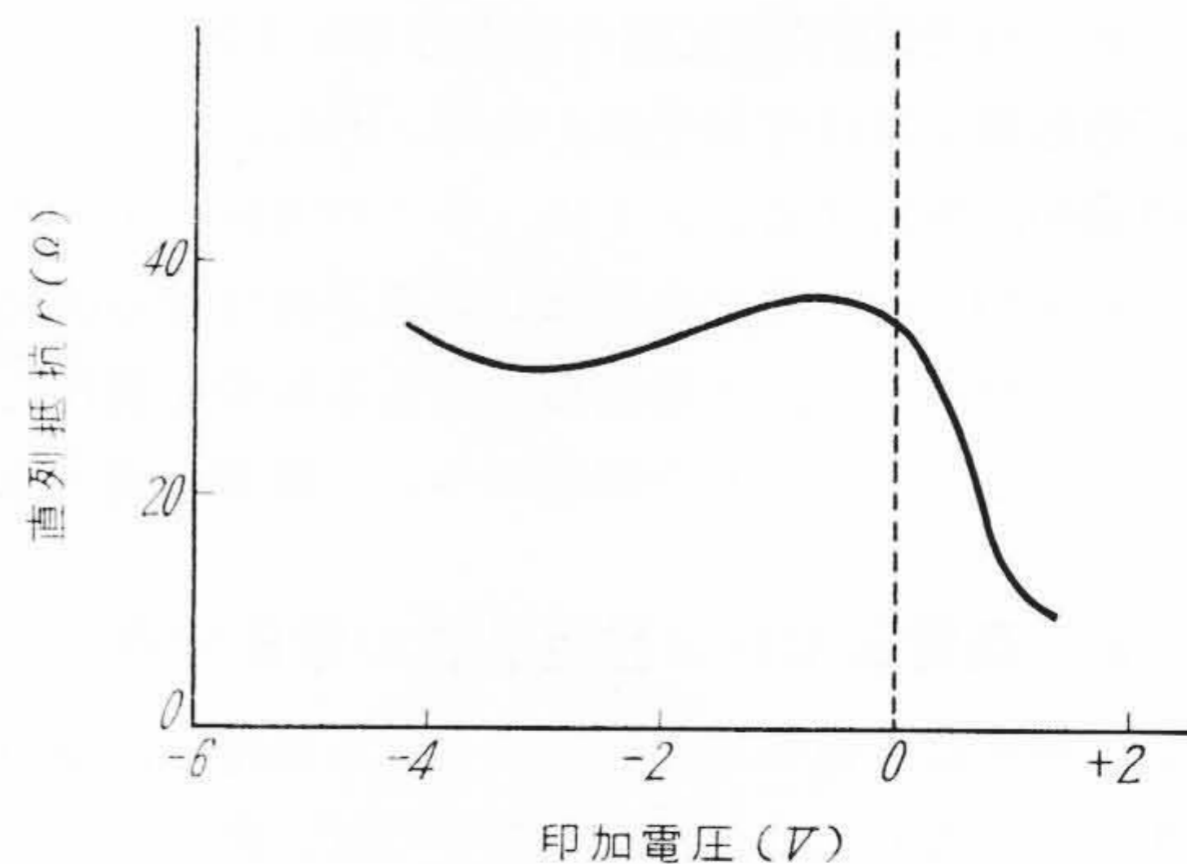
(A)の回路を整理すれば、第2図(B)のように表わすことができる。この並列実効抵抗 R 、直列抵抗 r および静電容量 C の直流電圧特性の一例(1)を示したものが第3、4、5図である。すなわち並列抵抗 R は $0 \sim -1V$ で最大値を有し、正電圧の増加とともに激減し、負電圧の増加にもなつて漸減する。直列抵抗 r は負電圧ではあまり顕著に変化しないが、正電圧では急激に減少する。次に



第2図 セレン整流素子の等価回路

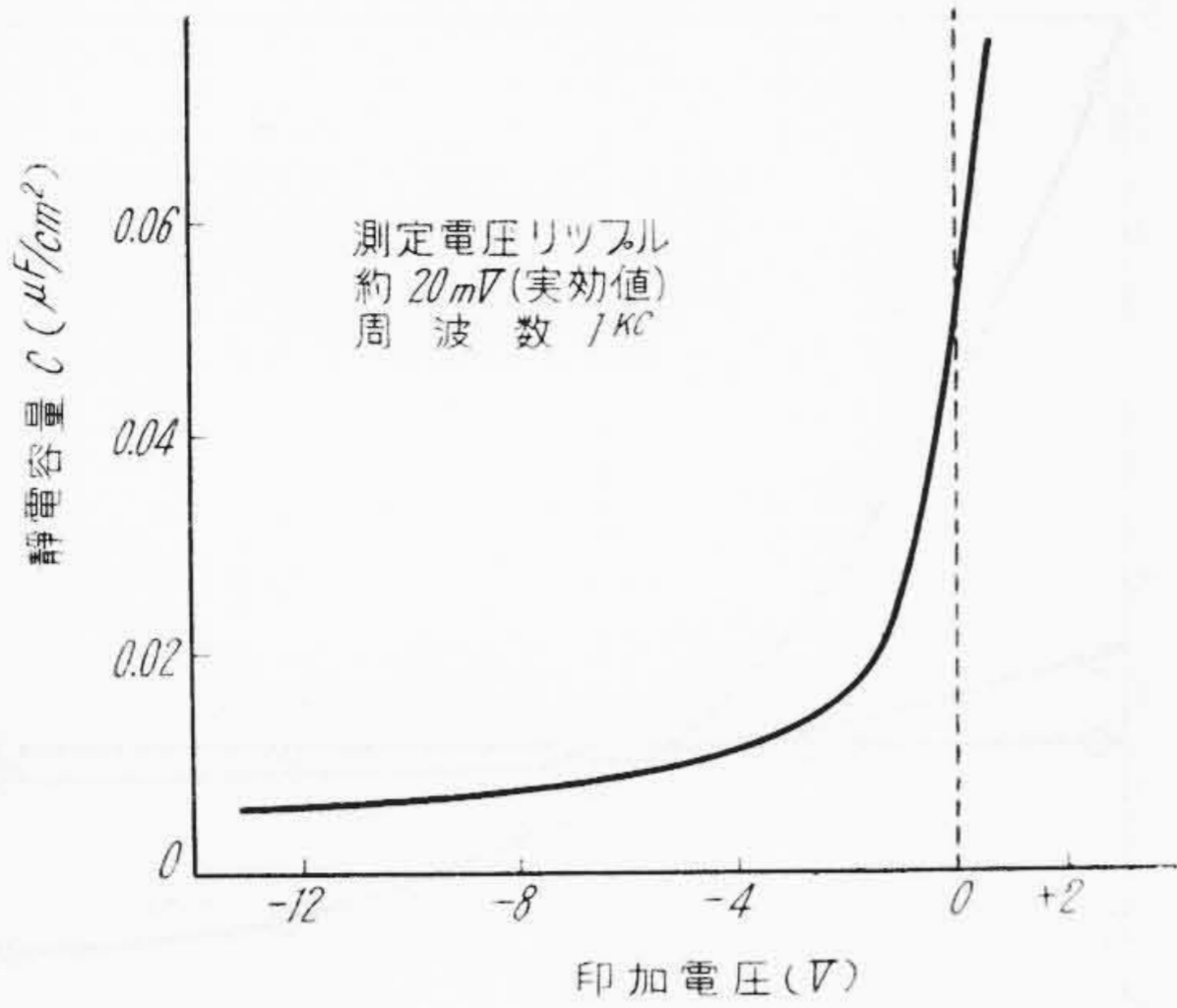


第3図 セレン整流素子並列実効抵抗の直流電圧特性



第4図 セレン整流素子直列抵抗の直流電圧特性

静電容量はかなり大きい値を示すが、 r とは逆に負電圧の増加にもなつて減少する。



第5図 セレン整流素子静電容量の直流電圧特性

3.2 セレン整流装置の等価回路と電圧分布

整流装置全体の電圧分布を検討するために、まずその等価回路を決定する。

整流素子は前節に述べたように、抵抗と静電容量とからなる集中回路と考えてよいので、これを多数組合せた整流装置は、同じく抵抗と静電容量との組合せによる分布回路として表わすことができる。一例として単相ブリッジ整流回路をとつて図示すれば、第6図のような等価回路とみることができる。ただし、aおよびdアームが塞流周期に、bおよびcアームが通流周期にある場合を示している。

塞流アームにおいては前節に述べたように $R \gg r$ であるから、aおよびdアームは逆方向実効抵抗 R と、素子の自己静電容量 C_m とが並列に接続された分布回路に、さらに各素子の大地に対する漂遊静電容量が図示のように並列に加つた回路となる。またb, cアーム、すなわち通流周期には、 R が著しく減少するので C_m を無視してよく、単なる抵抗回路とみなすことができる。次の半波では、当然a, dアームとb, cアームとの関係が逆になり、このような変化が周期的に繰り返されることになる。

電圧分布の不均衡に関しては、塞流周期においてのみ問題となるので以後はa, dアームについて考察を進めることにする。

塞流アームaにおいて、交流端子から n 番目のセレン整流器素子の分担電圧は(1)式のようなになる⁽²⁾。

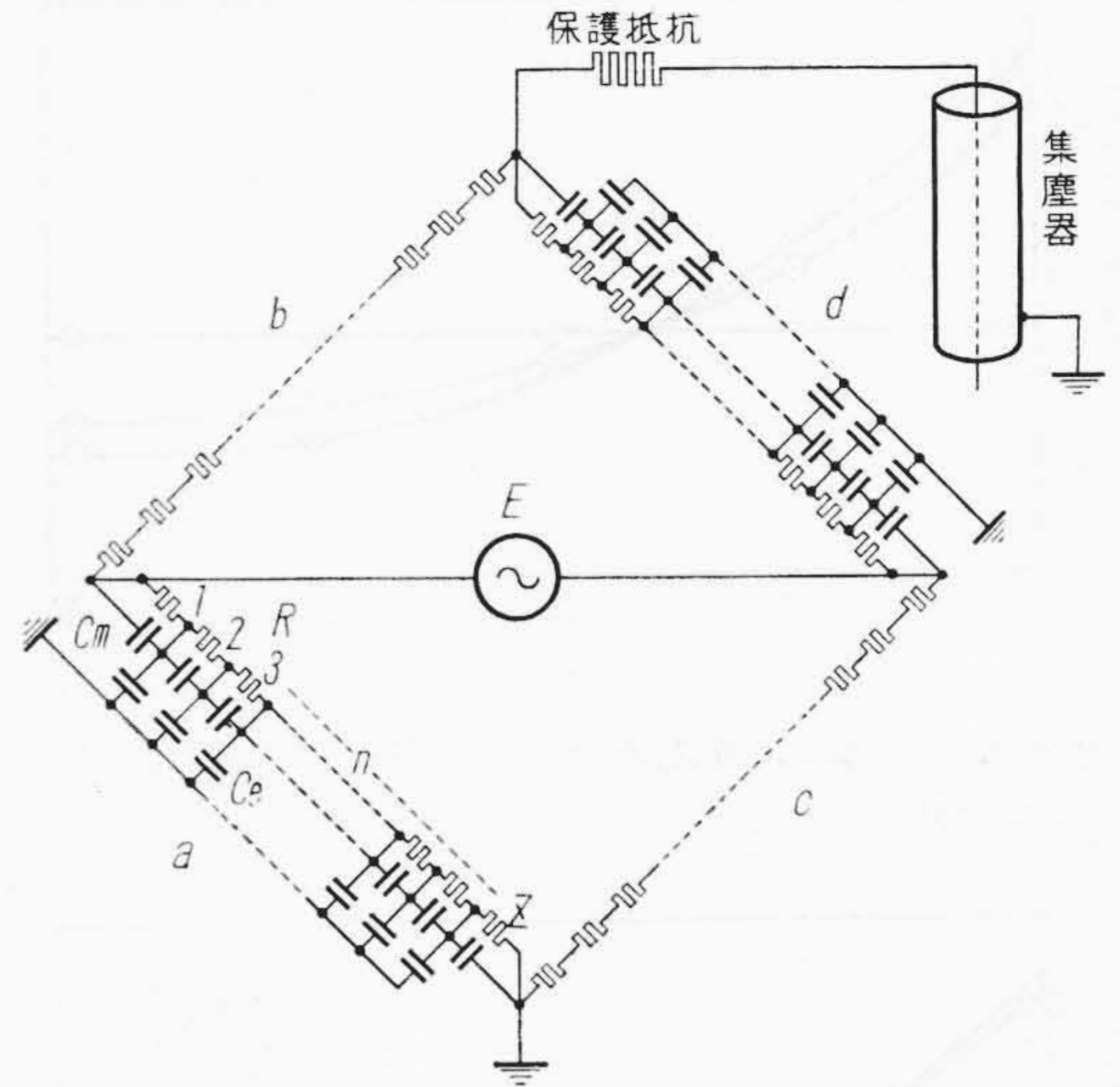
$$e_n = E \sqrt{\frac{2 [\cosh(2Z - 2n + 1)\alpha + \cos(2Z - 2n + 1)\beta] (\cosh\alpha - \cos\beta)}{\cosh 2Z\alpha - \cos 2Z\beta}} \dots (1)$$

ただし、

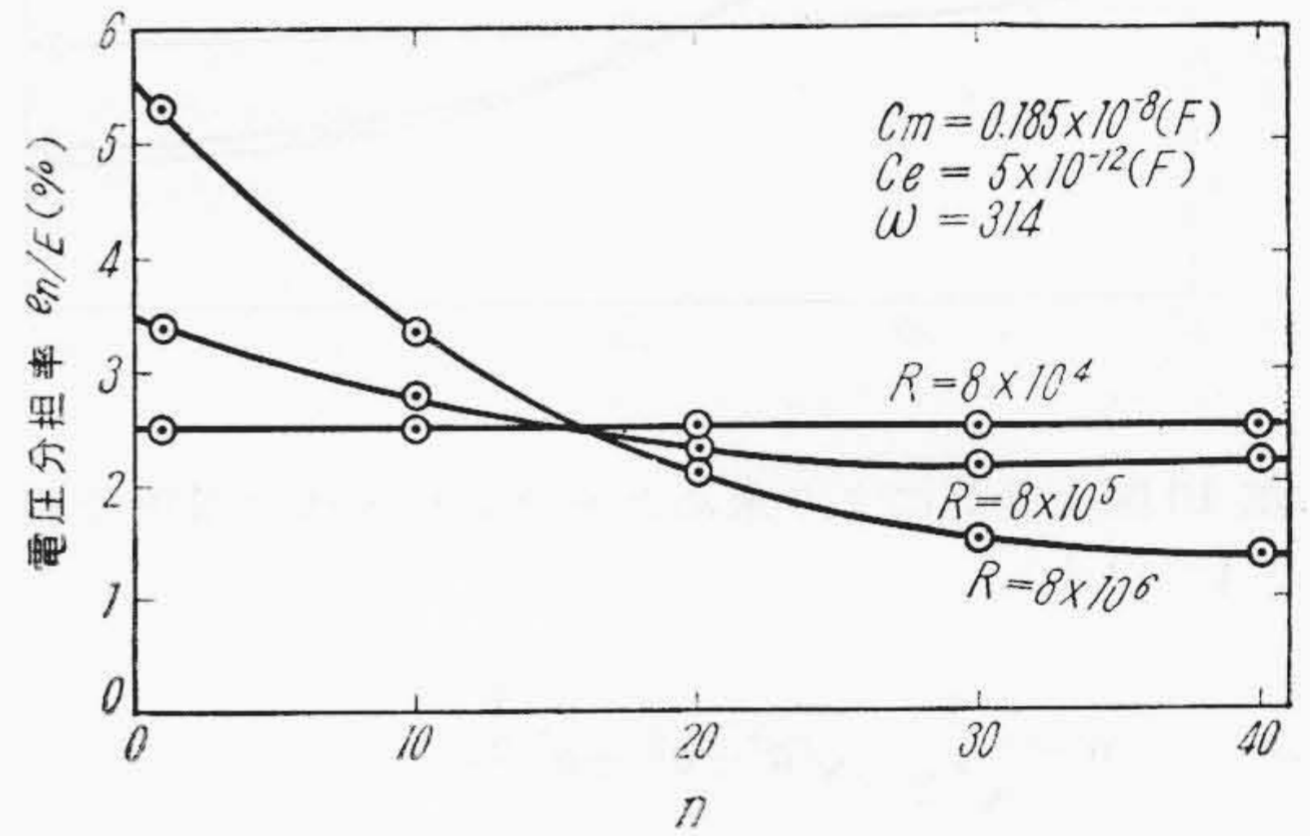
E : アームに印加される各調波正弦電圧の実効値

Z : アームの整流素子数

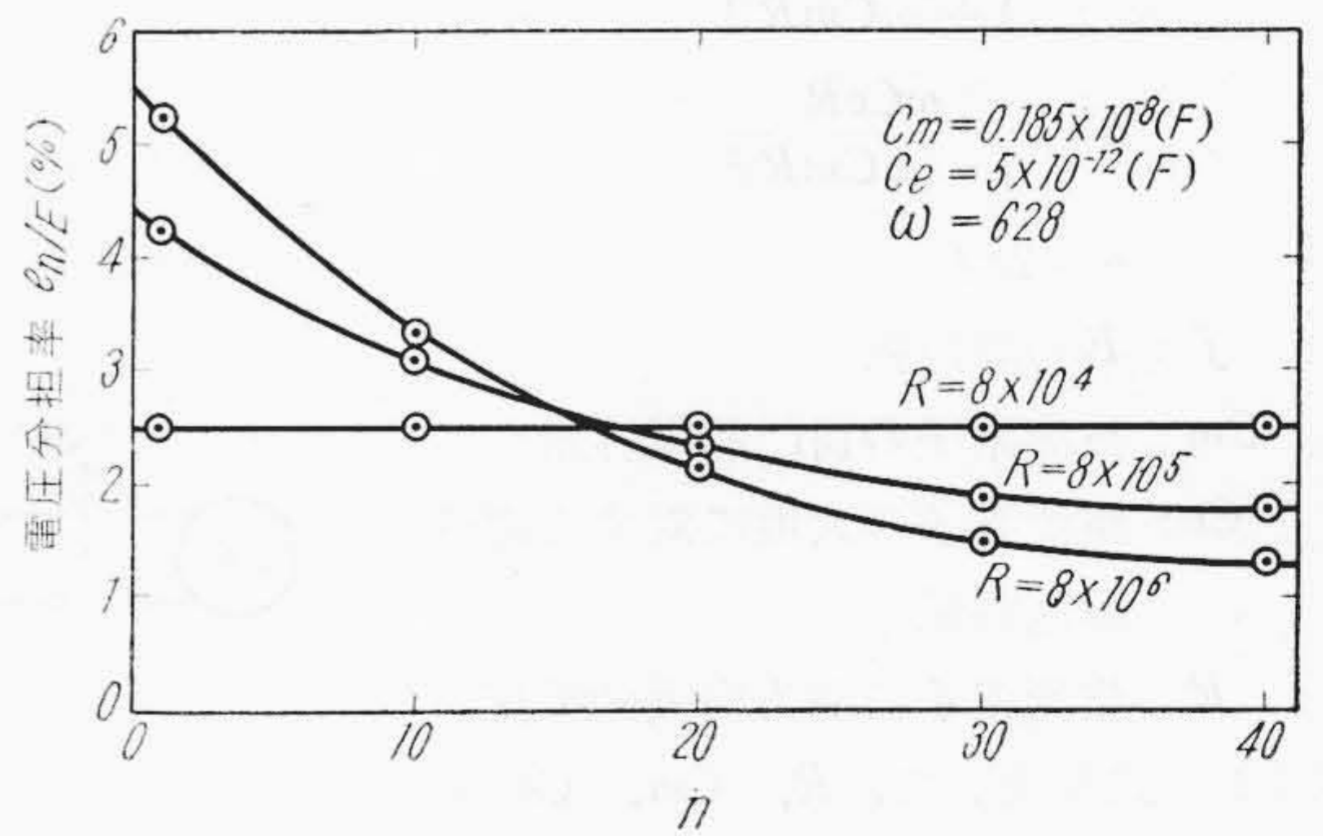
n : 交流端子より数えた整流素子数



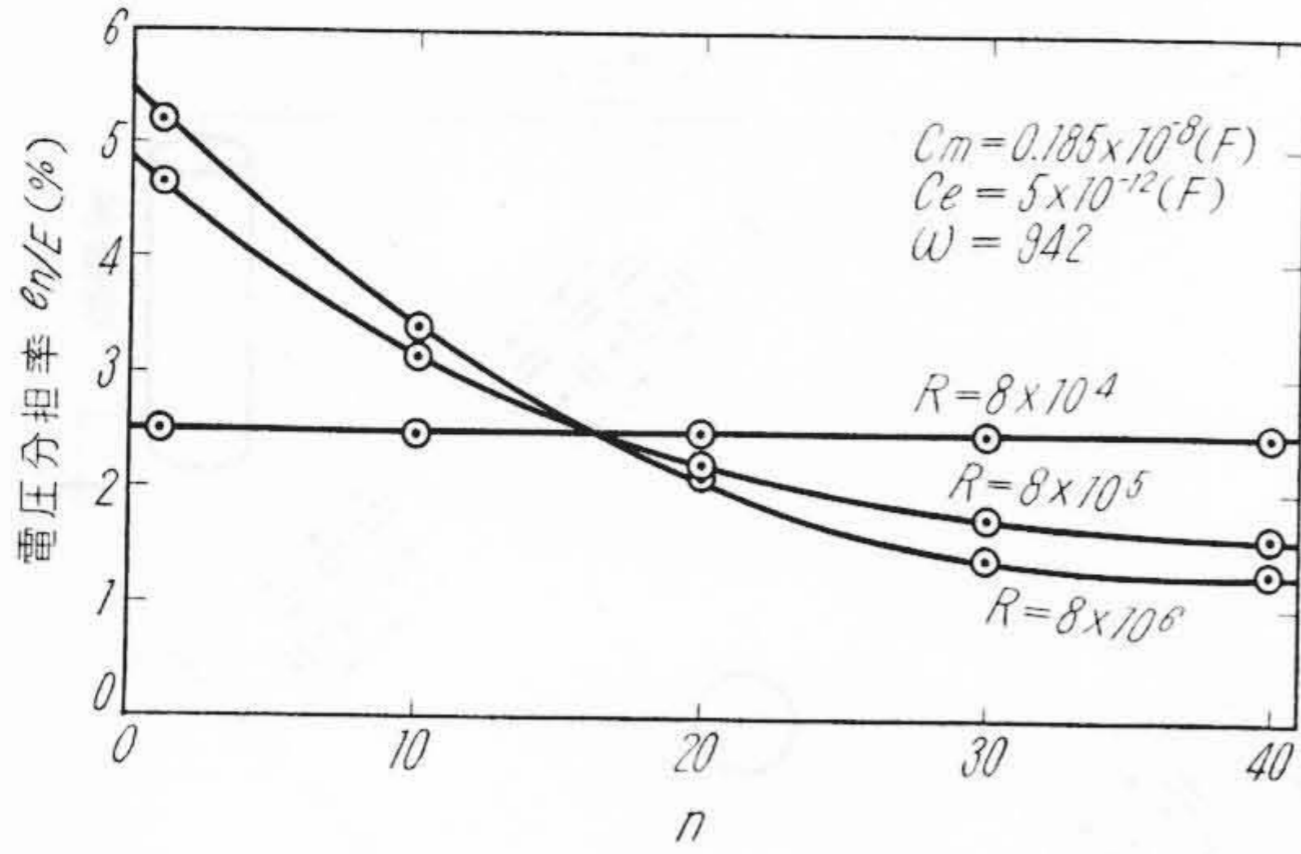
第6図 単相ブリッジ整流回路の等価回路



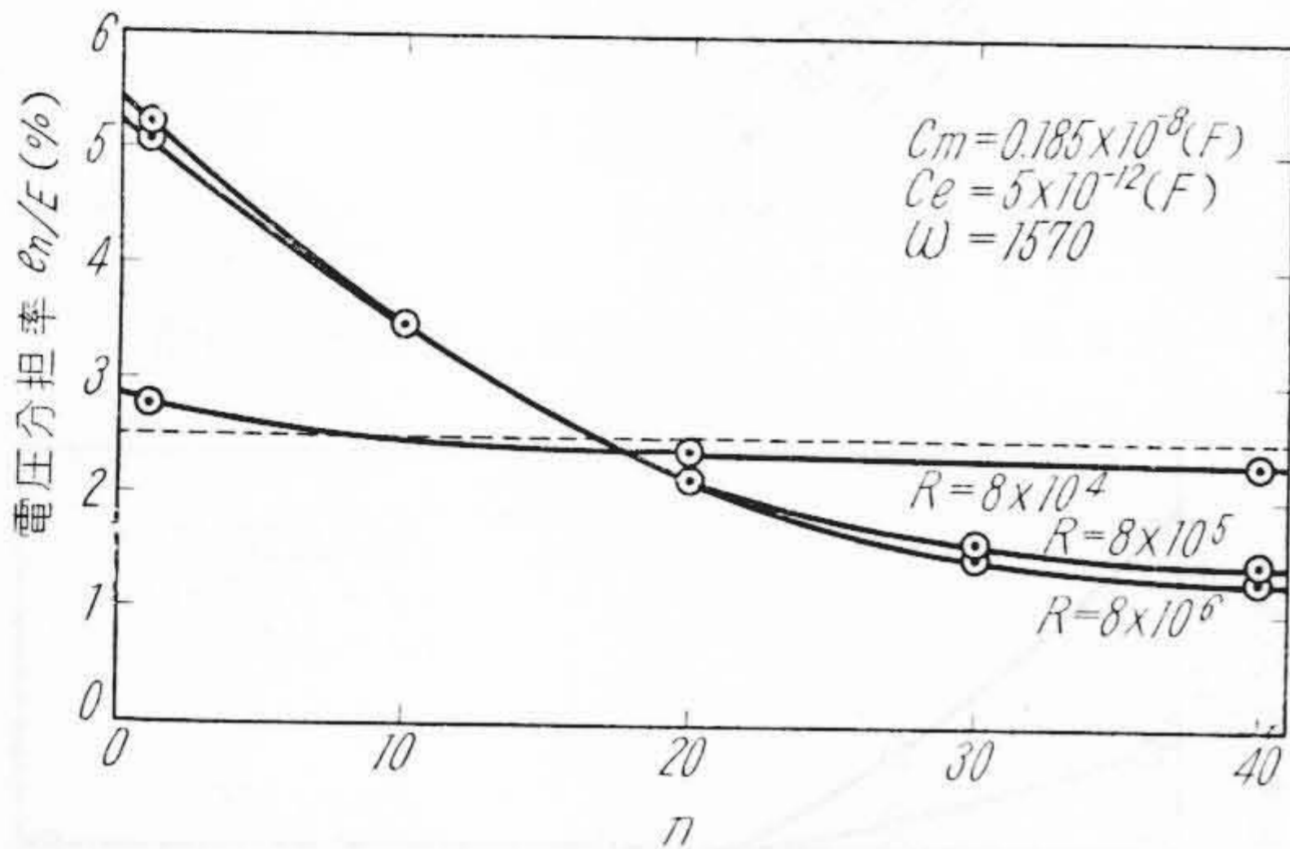
第7図 計算により求めたセレン整流体の電圧分布 (その1)



第8図 計算により求めたセレン整流体の電圧分布 (その2)



第9図 計算により求めたセレン整流体の電圧分布 (その3)



第10図 計算により求めたセレン整流体の電圧分布 (その4)

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}} (\sqrt{a^2 + b^2} + a)^{\frac{1}{2}}$$

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{2}} (\sqrt{a^2 + b^2} - a)^{\frac{1}{2}}$$

$$a = \frac{\omega^2 C_m C_e R^2}{1 + (\omega C_m R)^2}$$

$$b = \frac{\omega C_e R}{1 + (\omega C_m R)^2}$$

$$\omega = 2\pi f$$

f: Eの周波数

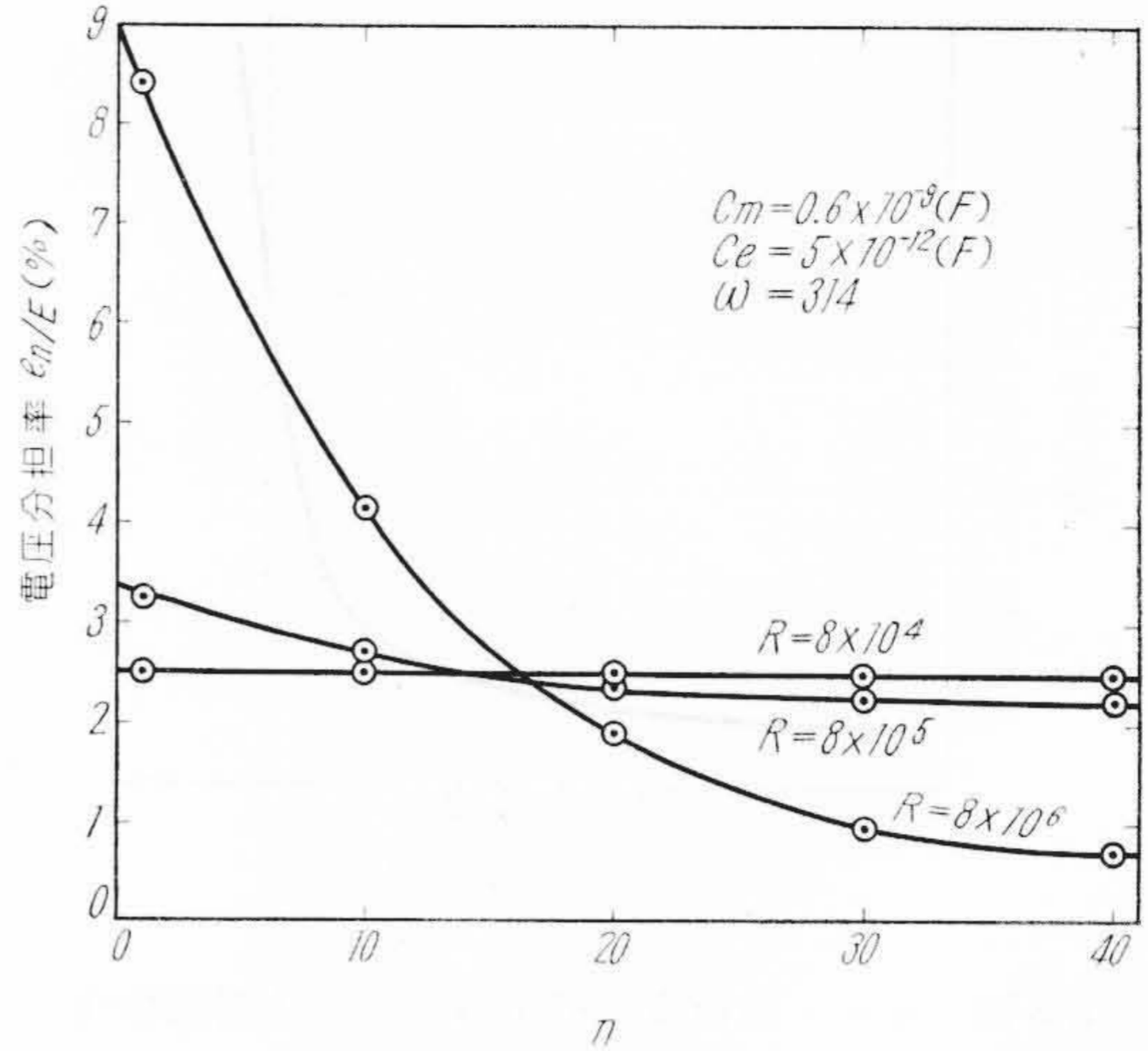
Cm: 整流素子の自己静電容量

Ce: 整流素子の大地に対する漂遊静電容量

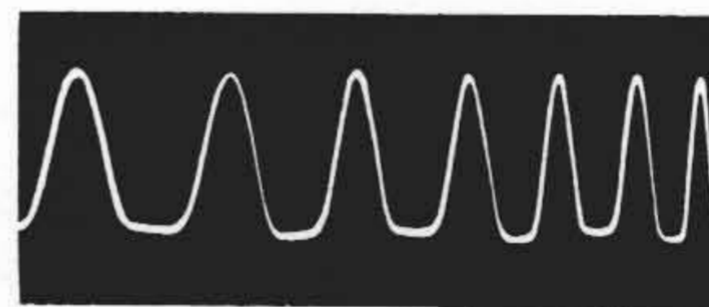
R: 整流素子の逆方向実効抵抗

(1)式を用いて、R, Cm, Ceの種々な値に対し en を数値計算した例を第7~11図に示す。なお実際の整流器逆電圧波形は第12図に示すように、高次の高調波を含む半波整流波形であるので、fについてもその影響を検討した。

これらの結果から、 $C_m = 0.6 \times 10^{-3} \sim 0.185 \times 10^{-2} \mu F$, $C_e = 5 \times 10^{-6} \mu F$,



第11図 計算により求めたセレン整流体の電圧分布 (その5)

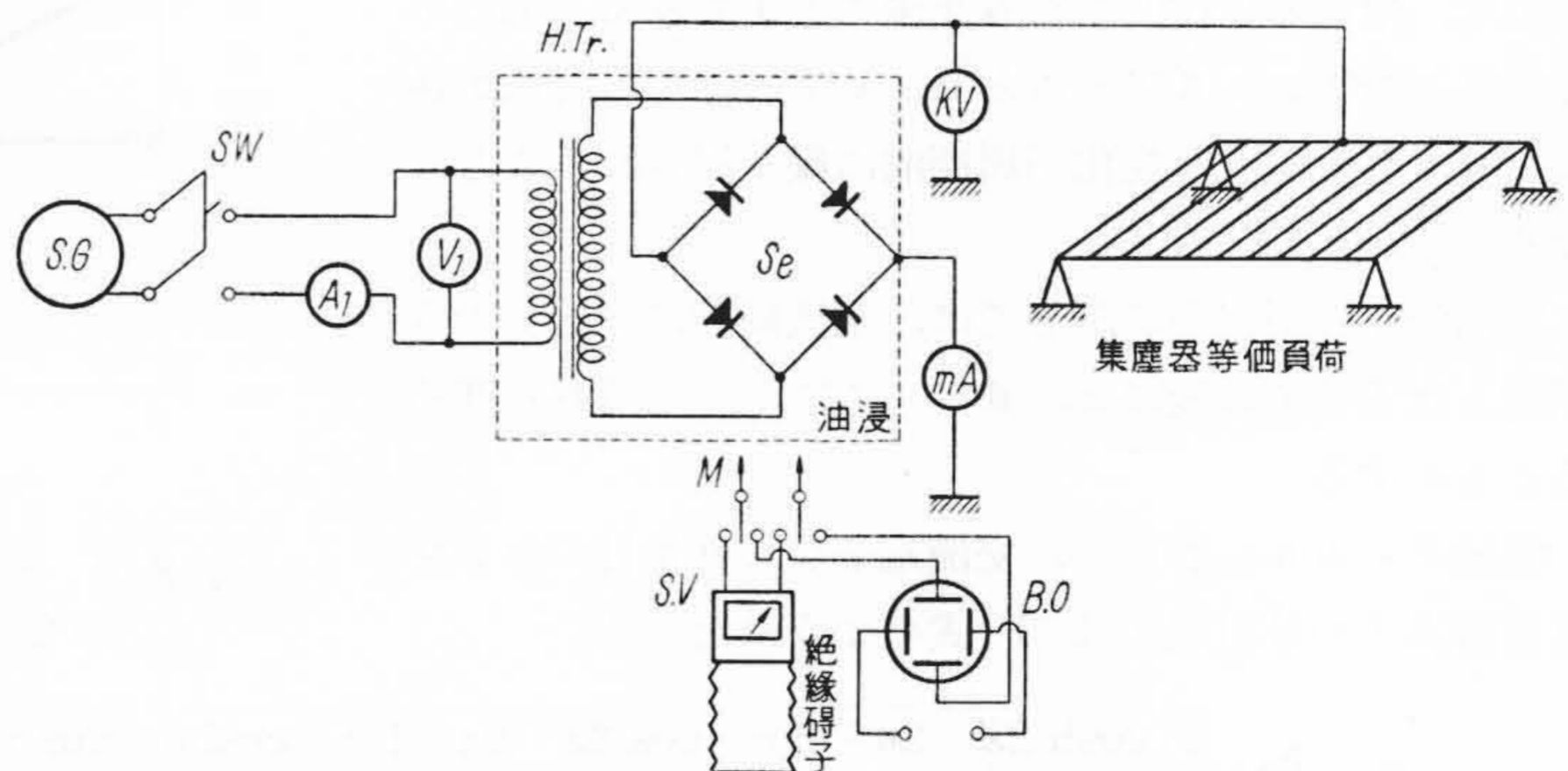


第12図 セレン整流素子の逆電圧波形

f = 50~250 ~の範囲では R が 10^6Ω 程度以上になると、分担電圧の不均衡が著しくなることがわかる。一般に電気集電装置用電源などの小電流セレン整流素子では、R がほぼこの程度となるので、不平衡は十分に生じうると考えておかねばならない。たとえば R = 8 x 10^6Ω では、交流端子付近の整流素子は均等分布の場合の2倍以上の電圧を負担することになる。

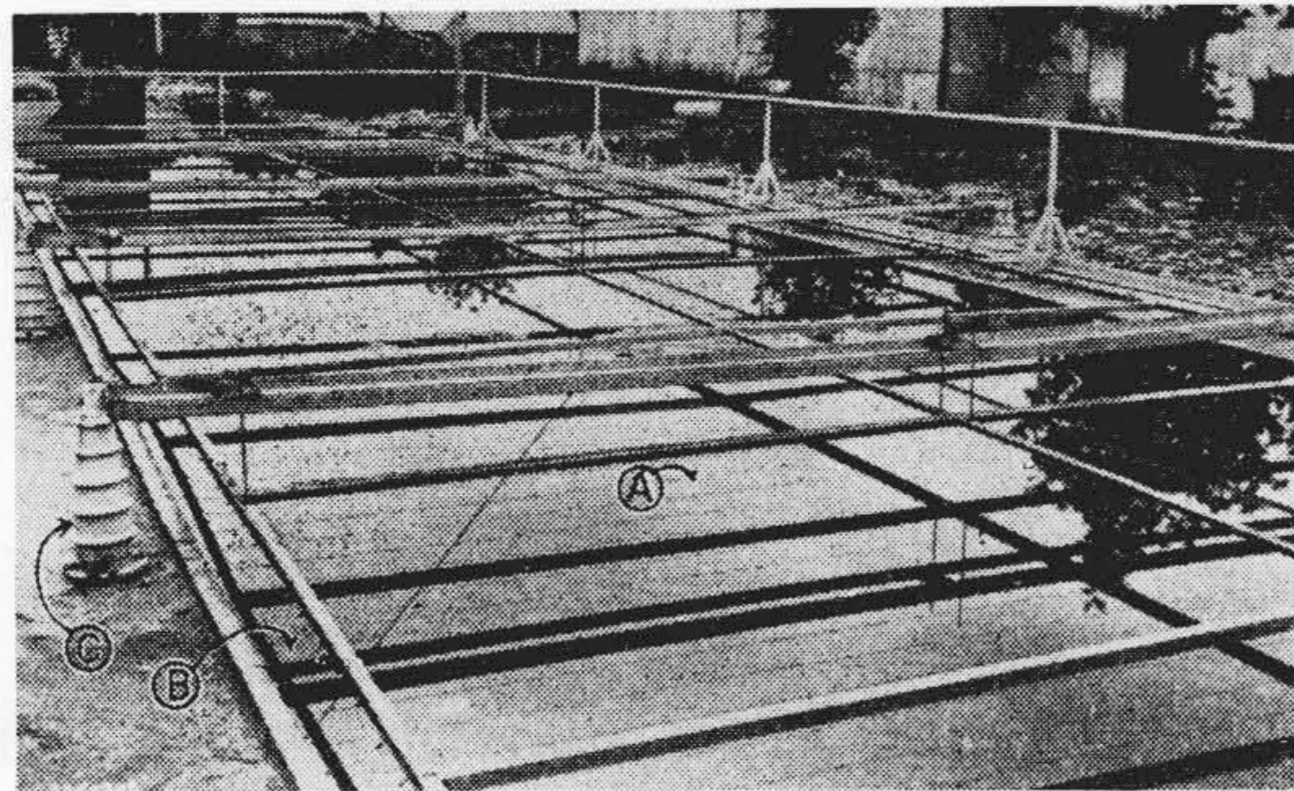
以上のように、多数直列に接続されたセレン整流体素子間の電圧分布は、素子逆特性と漂遊静電容量との関係によつて定まり、R があまり大きいことは好ましくない。しかるに、整流器単独で考えれば、R が小さいと逆

電圧分布は、素子逆特性と漂遊静電容量との関係によつて定まり、R があまり大きいことは好ましくない。しかるに、整流器単独で考えれば、R が小さいと逆



- S.G: 正弦波発電機
- A1: 電源変圧器1次電流
- V1: 電源変圧器1次電圧
- kV: セレン整流器出力実効電圧
- mA: 電気集塵器放電電流
- Se: セレン整流体
- S.V: セレン整流体電圧分布測定用静電電圧計
- B.O: セレン整流体電圧波形観察用単掃引ブラウン管オシログラム
- M: セレン整流体測定探針

第13図 セレン整流体電圧分布測定回路



第14図 電気集塵器等価負荷

流すなわち損失が多くなり、効率が下がるとともに素子温度上昇が増し寿命にも悪影響を及ぼすのでなるべく大きいことが望ましく、電圧分布の面とは利害相反することになる。したがって、実際の整流装置ではできるだけ素子の R を大きくし、 C_m 、 C_e と R との関係を適当にすることによつて電圧分布の均一化を図るべきである。

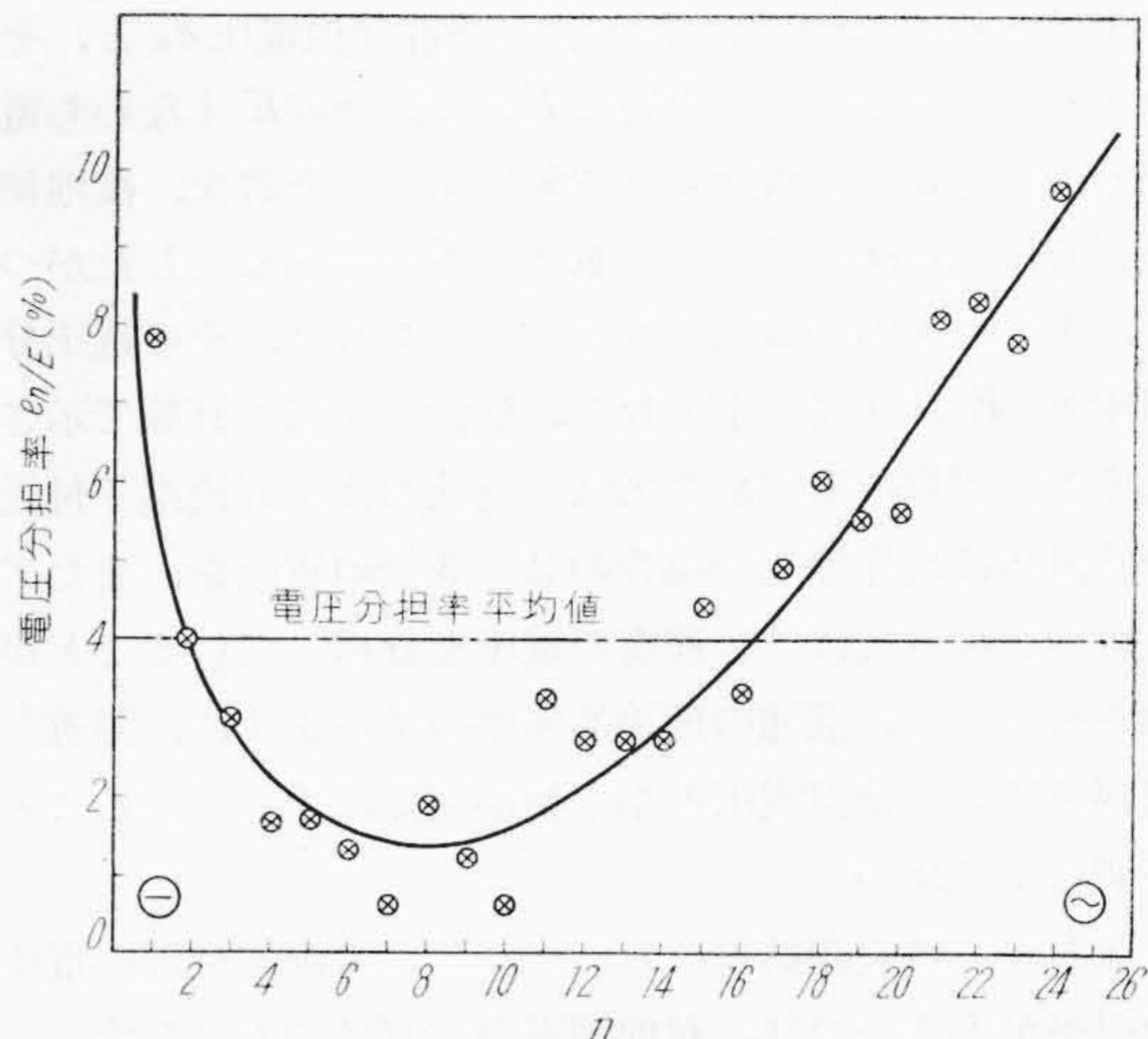
4. 電圧分布の実測例とその改善結果

前記理論的な検討結果を確認するとともに、実際の整流装置の電圧分布を改善するため、以下に述べる各種の実験を行つた。

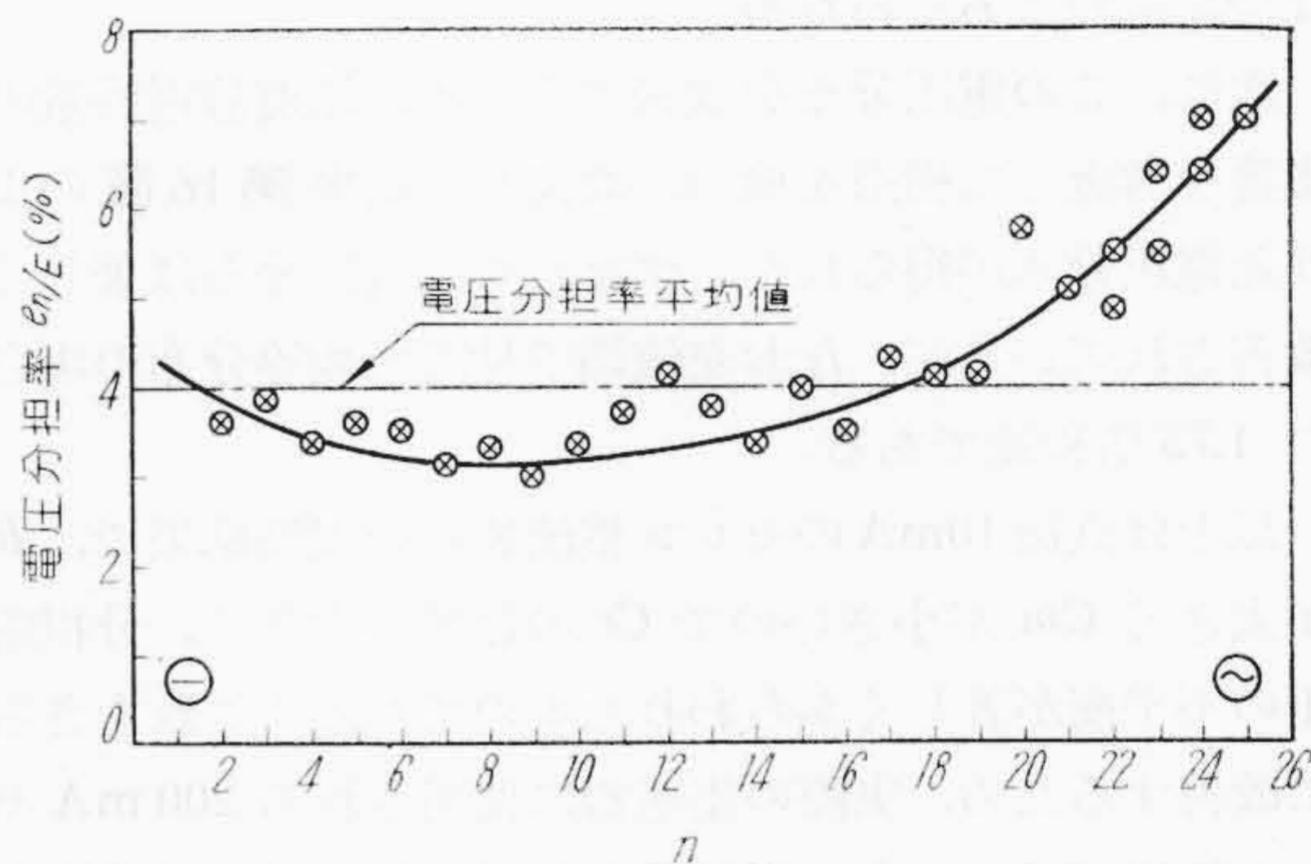
4.1 実験装置および測定方法

電圧分布の測定をできるだけ実際の電気集塵装置の使用状態に近い条件において行うため、第13図に示す回路を組み、静電電圧計によつて測定した。負荷として第14図のような電気集塵装置等価負荷を用いたが、これは、直径1mmのステンレス線（コロナ放電電極）長さ400mをプール水面（集塵極に相当）に平行に絶縁碍子により約120mmへだてて枠張りしたもので、これにセレン整流装置の直流高電圧を印加してコロナ放電をさせれば、実際の電気集塵器における空気負荷電気特性とまったく同様な非直線性の負荷となり、直流電圧50kVにおいて、負コロナ電流250mA（平均値）が得られた。

整流体分担電圧は、絶縁碍子の上のせた静電電圧計（2.5級）により測定した。測定誤差を検討するため、各分担電圧の総和と、アーム全体に印加した電圧とを比較したが、約2.5%の差で一致したので、本測定法は実用上支障ないものと考えてよい。ただし、漂遊静電容量が影響する程度の高インピーダンス分布回路では、静電電圧計や測定線の漂遊静電容量（実測値約10pF）の影響により、測定結果が、分担電圧の不平衡を過大に



第15図 セレン整流体の電圧分布実測例（その1）

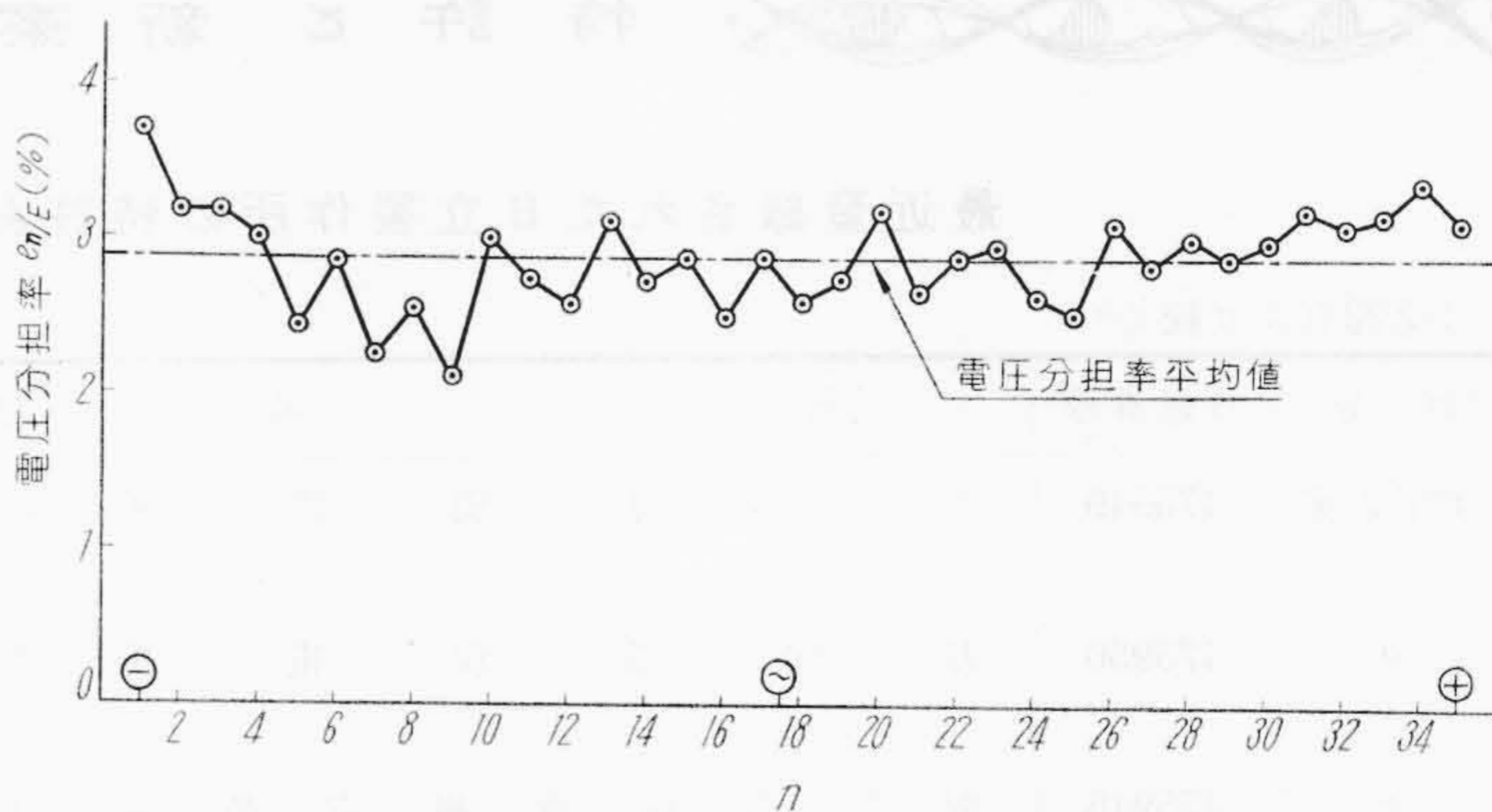


第16図 セレン整流体の電圧分布実測例（その2）

示すおそれがあるので、測定上十分注意しなければならない。

4.2 電圧分布の測定結果

第15図は、単相ブリッジ整流回路〔直流50kV（実効値）、10mA（平均値）〕についての測定結果で、縦軸



第17図 セレン整流体の電圧分布実測例（その3）

は1アームを25分割したときの各群分担電圧 e_n と、そのアームに印加された全電圧 E との比 e_n/E すなわち電圧分担率を示し、横軸 n は25分割した各群を、接地側（直流出力正極端子）より数えた番号である。したがって、1アーム内の電圧分布が均等であれば、その電圧分担率 e_n/E は4%一定となり、横軸に平行な直線で示されるが、実際の測定結果では、交流および直流端子付近の整流体は均等分布の場合の2~3倍の電圧を、またアーム中心付近では1/4程度の電圧を分担していることが示されており、前述の理論的考察結果のように、漂遊静電容量による分担電圧の不均衡が実際に生じていることが明らかになった。

なお、この実測結果において、アーム両端付近の電圧分担率が大きいのは、対地漂遊静電容量のみならず、高圧導体に対する漂遊静電容量にも影響を受け、あたかも送電線懸垂碍子連におけるそれとまったく同様な結果となつたものと考えられる。

次に、この電圧分布を改善するため、漂遊静電容量の影響を考慮して構造を検討、改良した結果第16図のような電圧分布が得られた。すなわち、電圧分布は著しく改善されているが、なお交流端子付近で均等分布の場合の1.75倍程度である。

以上は直流10mAのセレン整流装置の実測結果で、 R が大きく C_m が小さいので C_e の影響が大きく、分担電圧の不均衡が著しくあらわれたものである。これをさらに改善するため、実際の集塵器に使用される200mAセレン整流素子につき、電圧分布上有利なように逆流を増して R を小さくしたものを製作し、これをできるだけ C_e の影響の少ない構造に組立てた直流60kV、200mAセレン整流装置を試作し、同様な測定を行つた結果、第17図のように、不均衡をほとんどなくすることができた。

このように、整流素子特性ならびに整流体構造を合理的に選定することにより、電圧分布を、絶縁および寿命の点からも十分信頼性ある範囲に収め得ることを実験的に確認し得た。

5. 結 言

上記検討結果から、高圧セレン整流器製作にあつては、次の点に考慮を払う必要がある。

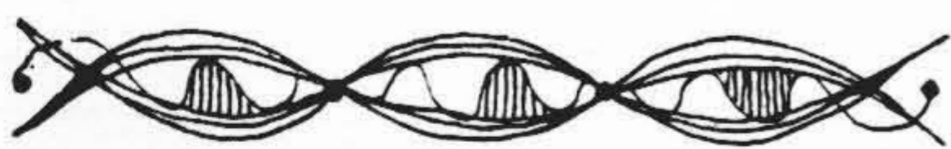
- (1) セレン整流素子間の電圧分布は、整流器逆特性と漂遊静電容量とによつて定まる。
- (2) 整流素子単独特性としては、 R 、 C_m が大きいことが望ましいが、電圧分布上はあまり大きいことは不利である。したがつて両者をあわせ検討し、最も適当な値を選択すると同時に、整流体組立にあたり漂遊静電容量の影響の最も少ない構造として、電圧分布の均一化を図るべきである。

日立製作所においては、以上のように高圧セレン整流装置製作上最も重要な問題である電圧分布について、理論的解析ならびに実験的検討を加え、その特性の改善を図つた結果、前記実測例に示すように電圧分布を十分に均一化し、長期間信頼性のある運転ができるような整流素子の特性および整流体組立構造を決定している。

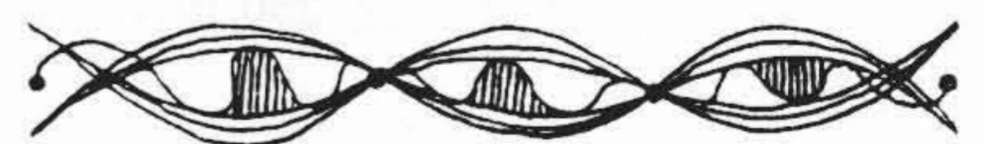
今後はさらにセレン整流装置の特長を十分発揮できるよう、整流体自身はもちろん、制御、保護装置についても研究を続け、電気的特性、信頼性、運転保守の問題などの総合性能を、より向上せしめるべく努力する所存である。

参 考 文 献

- (1) H. K. Henisch: Metal Rectifier, Oxford (1949)
- (2) 久保: 高等交流理論, 養賢堂 (昭3)



特 許 と 新 案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(第22頁より続く)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	475949	方 向 識 別 電 線	中央研究所	高 田 昇 平 安 藤 文 雄 井 立 田 義 春	33. 4. 22
"	475950	方 向 識 別 電 線	中央研究所	高 田 昇 平 安 藤 文 雄 井 立 田 義 春	"
"	475946	変 圧 器 保 護 継 電 装 置	日立研究所	柴 田 満 男 小 野 邦 男	"