



Title	けい光放電灯の低周波インピーダンスと陽極脈動
Author(s)	三浦, 良一; Miura, Ryoichi
Citation	北海道大學工學部研究報告, 12, 87-97
Issue Date	1955-06-15
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40562">https://hdl.handle.net/2115/40562</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	12_87-98.pdf



# けい光放電灯の低周波インピーダンス と陽極脈動

三 浦 良 一

(昭和 30 年 3 月 1 日 受理)

## Low Frequency Impedance and Anode Oscillation in Fluorescent Lamp

Ryoichi MIURA

### Abstract

On anode fall of d.c. operated fluorescent lamp, its current-voltage characteristic and low frequency impedance were measured. The impedance was inductive, capacitive or purely resistive according to working point on the characteristic curve. And the working point was fixed by discharge conditions and anode construction, especially anode effective area.

Discharge tube having anode of large effective area was stable for anode oscillation, and its impedance was able to be capacitive. But capacitive property of cathode-anode impedance of discharge tube was due to the anode fall region, not due to the positive column, this experimental verification removed theoretical difficulty on dynamic character of positive column.

The other discrepancy between theory and experiment on positive column impedance was pointed out by the fact that a.c. resistance was much larger than d.c. resistance (3 times or more); and introduction of field dependence of plasma electron mobility to theory were proposed by author.

### 目 次

I. 緒 言	2
II. 実験方法	2
III. 実験結果	3
1. 普通型放電管の陰極—陽極間インピーダンス	3
2. 平板陽極型放電管の陰極—陽極間インピーダンス	4
3. 内部で絶縁され、並列陽極として動作している二集電極間 インピーダンス	5
4. 並列陽極における電流—電圧特性	6
5. 一集電極の探極特性とそれに対応する集電極間インピーダンス	7
6. 陰極降下部のインピーダンス	8
IV. 考 察	8
1. 陽極降下部のインピーダンスとその影響	8
2. 陽光柱インピーダンスについて	9

3. 陽極構造と陽極機構との関係、及び陽極脈動の原因について .....	10
V. 結 言 .....	10

## I. 緒 言

低圧放電管のインピーダンスを比較的低い周波数で測定した例は、高周波における電離気体インピーダンスの研究に比して極めて少い。高周波におけるインピーダンスは古く電離層内電波伝播に関連して研究され、はなばなしい論争を惹き起して今日に至っており、最近はまだマイクロ波回路の減衰器設計のために、あるいは放電自体の研究のためにマイクロ波特性が研究されつつある。

これに対して放電の低周波特性の方は、再点弧現象に関連しては古くから研究されているが定常放電の動特性の研究は最近のことに属する。特定の場合としては通信回路中に用いられるサイラトロンについて額田氏の研究<sup>1)</sup>があり、放電一般の問題としては八田氏<sup>2)</sup>がアルゴン放電管について測定を行つた結果、Granovsky の理論<sup>3)</sup>ないしは従来定性的に信ぜられていたところからは説明の困難な問題が提出された。即ち陽光柱インピーダンスが数キロサイクル以上において容量性を示す事実である。これが本論文で検討せんとする第一の問題点である。

ついで、けい光放電灯の普及に伴つて雑音対策が重要となりその一環として実際面の要求から広い周波数範囲におけるけい光放電灯のインピーダンスが浅見、松本両氏<sup>4)</sup>によつて測定された。その結果前記八田氏の場合と同様な容量性の問題のほか、10 kc 附近でほぼ純抵抗となつた場合の交流抵抗値が直流抵抗値の約3倍となる事実が認められた。陽光柱に関する従来の理論よりすれば両抵抗値は一致する筈であつて八田氏の場合はその一致は良好であつた。これが本論文において考察せんとする第二の問題点である。

なお、けい光放電灯の過渡特性を放電現象の基礎的な立場から実験的、理論的に検討したものに Barnes の研究<sup>5)</sup>があるが、上にのべた二つの問題点に対する解決の途は与えられていない。

著者は、従来閑却されてきた陽極降下部のインピーダンスを分離測定し、これを端子間インピーダンスから取り除いて陽光柱部固有の特性を求め、もつて陽光柱理論に寄与せんと試みて一応の成功を収めた。また陽極降下部の理論、けい光放電灯における陽極脈動の原因に関しても興味ある成果を得た。

## II. 実 験 方 法

インピーダンス測定は第1図の如きブリッジ回路で行われた。ブリッジ本体としては横河製万能ブリッジを、標準器としては横河製ブルックス型標準可変インダクタンス (0-113 mH) 及び安藤製3ダイヤル標準蓄電器 (0.111  $\mu$ F, 1目盛 10 pF) を用い、増巾器自蔵のブラウン管オシロをもつて平衡を検出した。

被測定放電管は、市販の 20 ワットけい光灯（普通型とよぶ）と特別に試作した平板陽極型とを用いた。後者は陽極をアルミ円板とした点のみが普通型と異なるものであつて、その電流—電圧特性及び脈動発生状況については已に発表してある<sup>6)</sup>。

放電管の被測定端子間には電源回路が低い並列インピーダンスとして存在するので、この影響を小さくするために塞流線輪を挿入したが主として使用された 2H, 1A のもののインピーダンス周波数特性は第 2 図の如くであつて測定結果に対して補正を必要とした。

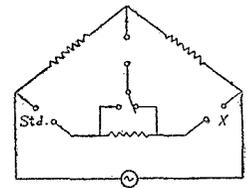


Fig. 1 universal bridge used for impedance measurement.

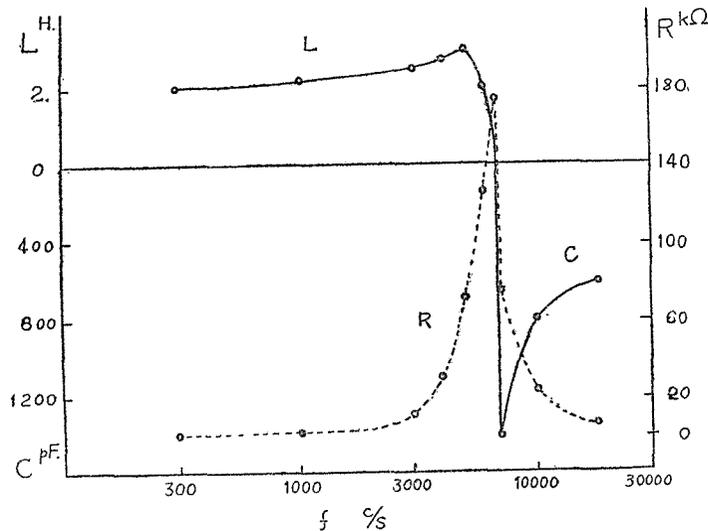


Fig. 2 frequency characteristics of choke impedance (2H, 1A)

### III. 実験結果

#### 1. 普通型放電管の陰極 (K)—陽極 (A) 間インピーダンス

第 1 表は普通型放電管の放電々流を 100 mA 一定とした場合における K—A 間インピーダン

Table 1 impedances and admittances of commercial fluorescent lamp

f kc	measured $R + jX$ (kΩ), $G - jB$ (μS)				corrected $G' - jB'$ μS	
	R	X(L)	G	B	G'	B'
2	1.07	1.15 (92 mH)	438	471	433	436
3	1.47	0.72 (38 " )	605	272	600	252
4	1.5	0.5 (20 " )	600	200	—	—
7	1.5	0.44 (10 " )	615	180	602	183
15	1.5	0.38 ( 4 " )	625	157	—	—
18	1.4	0	714	0	693	61

スの周波数特性であつて、次の平板陽極型の結果とともに第3図に示してある。即ち 18 kc までには明らかに誘導性である。25 kc 以上では見掛けの測定値は幾分容量性を示したがこれも並列電源インピーダンスの補正を行つたところ容量性とはならなかつた。しかしこのように高い周波数ではブリッジの精度が不十分で論議の対象とはなり難いので第1表には示していない。また放電電流を 100 mA から 164 mA まで変化して測定した結果も同様の傾向であつた。

## 2. 平板陽極型放電管の $K-A$ 間インピーダンス

放電電流をパラメータとせる  $K-A$  間インピーダンスの周波数特性を測定した見掛けの値及び第2図の並列インピーダンスで補正した値を  $G-jB$  なる並列アドミッタンスの形で示したものが第2表である。また補正値を  $R+jX$  なる直列インピーダンスの形で図に表わしたものが第3図であつて、測定点の傍の数字は周波数 (kc) を表わす。実線は平板陽極型、破線は放電電流 100 mA における普通型の特性であつて著しい相違が見られる。即ち平板陽極型では 7 kc 附近ですでにほとんど純抵抗になり、放電電流が大きくなれば 10 kc 以上で容量的となる。また抵抗分  $R$  については同一放電電流で普通型の方が可成り小さい。

Table 2 admittances of disc anode type discharge tube  
[ $G, B$  ( $\mu\mathcal{Y}$ ): measured value.  $G', B'$  ( $\mu\mathcal{Y}$ ): corrected value]

$f$ (kc)	98 mA				121 mA				144 mA			
	$G$	$B$	$G'$	$B'$	$G$	$B$	$G'$	$B'$	$G$	$B$	$G'$	$B'$
1.5	151	442	145	396	138	559	132	513	—	—	—	—
2.0	284	307	279	272	322	408	317	373	370	500	365	465
2.5	357	185	352	159	435	254	430	228	505	302	500	276
3.0	385	152	380	132	474	198	469	178	560	244	555	224
3.5	400	109	395	93	515	171	510	155	610	182	605	166
7.0	555	0	542	3	570	0	557	3	690	0	677	3
10.0	526	-16	501	7	625	-18	600	5	714	-13	689	10
18.0	555	-51	534	10	645	-57	624	4	745	-81	724	-20
	168 mA				197 mA				295 mA			
1.5	44	910	38	864	56	1360	50	1314	—	—	—	—
2.0	455	636	450	601	515	820	510	785	384	1460	379	1425
2.5	617	395	608	369	—	—	—	—	950	925	945	900
3.0	675	274	670	254	890	470	885	450	1040	847	1035	827
3.5	725	235	720	219	943	354	938	338	1130	670	1125	654
7.0	830	0	817	3	1052	0	1039	3	2000	0	1987	3
10.0	870	-19	845	4	1190	-25	1165	-2	1960	0	1935	23
18.0	910	-93	889	-31	1250	-125	1229	-64	1960	-238	1939	-177

さて、以上二つの型の放電管は陽極構造のみが異なるのであるからインピーダンス特性の相違もまた陽極部インピーダンスの相違に基くものと考えられるが、ここにおいて陽極部インピーダン

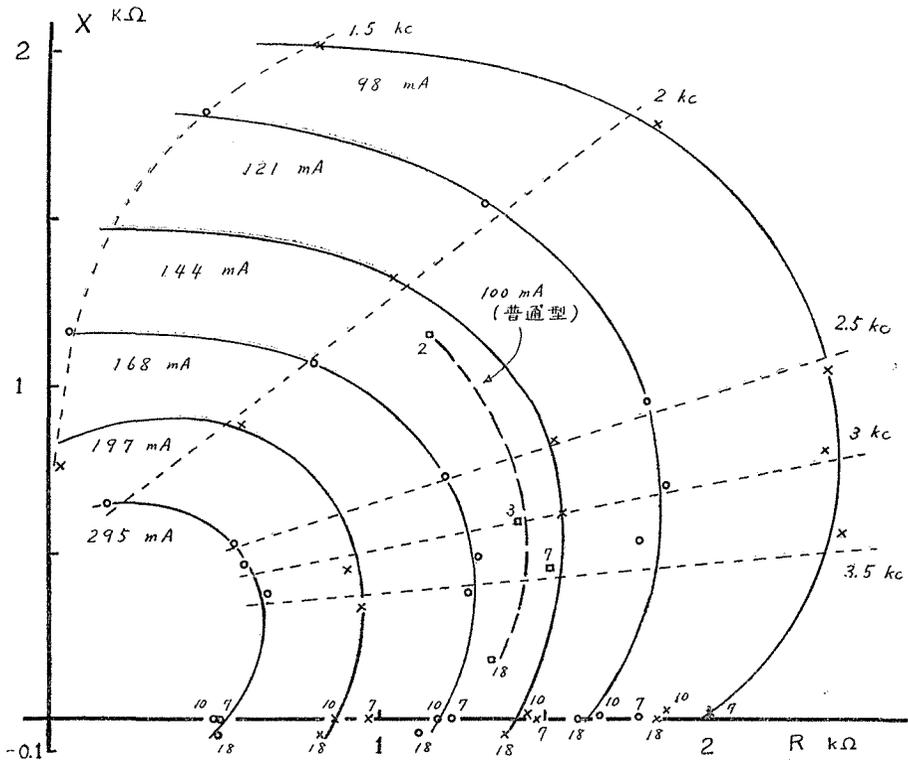


Fig 3 frequency characteristics of cathode-anode impedance of disc anode type discharge tube.

スの測定が必要となってくる。平板陽極型では探極が封入してないので陽極部のみでの分離測定はできなかつたし、たとえ探極を用いても普通は探極の部分のインピーダンスが著しく大きいので分離測定は困難であろう。普通型では陽極として用いる側のフィラメントを断線せしめて二集電極を内部において絶縁し、その相互間インピーダンスを測定することができた。次にその結果をのべる。

3. 内部で絶縁され、並列陽極として動作している二集電極  $A_1$ — $A_2$  間インピーダンス

この場合に問題となるのは集電極に流入する電流の大きさによつてそのインピーダンスが著しく異なることであつて、両集電極の電流分配をいろいろに変えて測定した結果から個々の集電極のインピーダンス特性、さらには放電管陽極部のインピーダンス特性を推論することとした。即ち二集電極  $A_1$ ,  $A_2$  に流入する電流  $I_1$ ,  $I_2$  及び  $A_1$ — $A_2$  間の電位差  $V_{12}$  をパラメータとして  $A_1$ — $A_2$  間インピーダンスの周波数特性を測定した結果が第4図である。パラメータは図中に  $I_1$ — $I_2$  ( $V_{12}$ ) の形で記入してある。また測定点の傍の数字は周波数 (kc) を表わす。

その傾向のおもな点は  $V_{12}$  が大きくなると容量的になることであるが、測定された値は両陽極

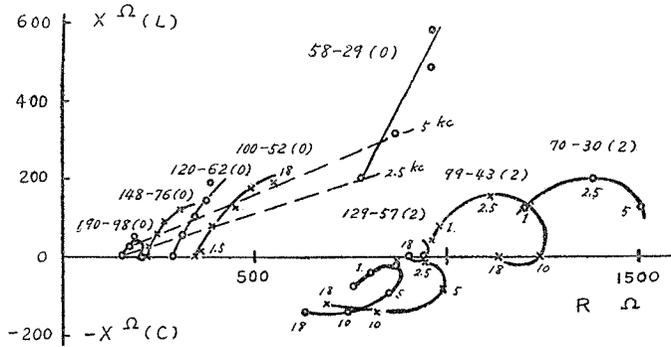


Fig. 4 frequency characteristics of impedances between two parallel anodes for some current distributions.

降下部の直列合成値であつて、さらに論議をすすめるためには両者の分離が必要であり、そのためには  $A_1$ ,  $A_2$  各々の陽極降下部における電流対電圧特性が知られなければならない。

4. 並列陽極  $A_1-A_2$  における電流—電圧特性

放電々流を 100mA 一定に保ち、 $V_{12}$  により  $A_1$ ,  $A_2$  への電流分配を変化せしめつつ、陰極  $K$  と一方の集電極  $A_2$  との間の電圧 ( $V_K$ ) を測定した結果が第 3 表である。この表の結果を整

Table 3 current distribution between parallel anodes

状態点	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$V_{12}$ (V)	$V_K$ (V)
5'	43	57	-7.8	66.6
4'	46	54	-6.8	66.5
3'	50	50	-5.1	66.2
2'	56	44	-2.1	66.0
1'	60	40	-1.05	65.4
0	63	37	0.	64.8
1	66	34	1.15	63.2
2	70	30	4.5	60.3
3	72	28	5.9	59.0
4	76	24	7.4	57.5

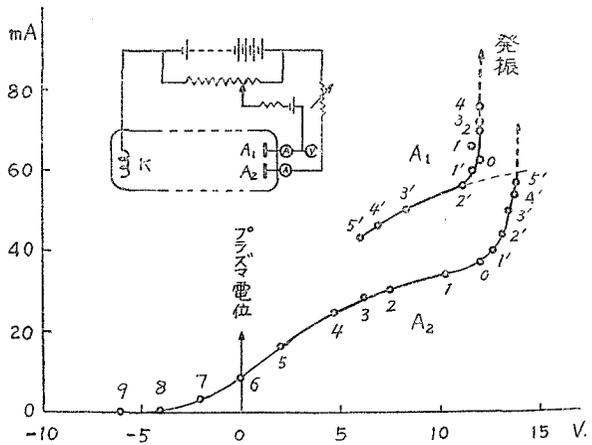


Fig. 5 current-voltage characteristics of two parallel anodes.

理するために  $V_{12} = 0$  における  $A_1$ ,  $A_2$  の陽極降下値は相等しく 12V であるとした。この値は一方を探極として測定したものでこれについては已に発表した<sup>6)</sup>。また陰極降下部及び陽光柱部の電圧は放電々流一定であるから変化しない筈であつて  $K-A_2$  間電圧の変化は  $A_2$  の陽極降下値の変化とみられる。従つてまた  $A_1$  の陽極降下値は  $V_{12}$  を用いて求めることができる。このようにして得られた結果を測定回路とともに図示したものが第 5 図であつて、測定点に附した数字は両曲線の対応点を示す。即ち状態点 0 は  $V_{12} = 0$ , 状態点 1 は  $V_{12} = 1.15$  V のときの一組の

測定であつて以下同様に 2, 3, 4, 5 及び 1', 2', 3', 4' が定められる. この実験では  $A_1$  で 76 mA,  $A_2$  で 57 mA 以上になると脈動を発生して測定不能となり 5' 及び 6 以上の状態点は求められなかつたが, 脈動の発生し難い状態で測定された実験から推測される値を状態点 6—9 として示してある. この実験は次の如きであるが, その場合第 3 表に対応する測定が完全には行われなかつたために状態点 6—9 に対応する  $A_1$  曲線上の点及び状態点 5' 以上は示されていない.

### 5. $A_2$ の探極特性とそれに対応する $A_1$ — $A_2$ 間インピーダンス

ここにいう探極特性とは,  $A_1$  を主陽極として放電電流を 100 mA 一定に保ち,  $A_2$  に  $A_1$  を基準とする負電位を与えて測定した  $A_2$  における電流—電圧特性であつて, 第 6 図はその結果を

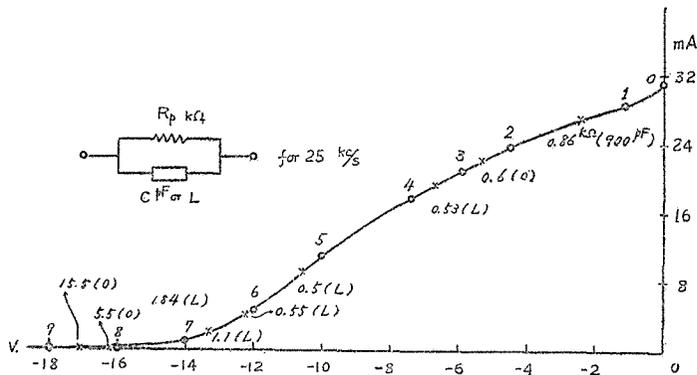


Fig. 6 probe measurement

示すものである. この場合は  $I_2=0$  ( $I_1=100 \text{ mA}$ ) においても脈動を発生しなかつた. 図中の数字はそれぞれの状態点 (第 5 図の状態点に対応する点は別に番号を附した) において 25 kc で測定した  $A_1$ — $A_2$  間インピーダンスを等価並列回路で表わし  $R_p, \Omega$  ( $C_p, \text{pF}$ ) の形で示したものであつて  $R_p$  (L) とせるは誘導的であることを示す.

第 5 図と第 6 図とを対照してみると, 第 6 図においては 25 kc におけるインピーダンスが状態点 9, 8 で純抵抗, 状態点 7—3 で誘導的, 状態点 2, 1 では再び純抵抗を経て容量的となつている. また状態点 1, 0 においては再び誘導的である. 但し已にのべたように第 5 図の  $A_2$  曲線と第 6 図とは完全には対応していない.

以上の結果は  $A_1$  と  $A_2$  とのインピーダンスが直列にあるために複雑化しているが個々のインピーダンスを推測することもできる. 即ち第 5 図の  $A_2$  曲線について  $A_2$  陽極降下部のインピーダンス特性を考えるに, 陽極降下部で衝突電離の生ずる状態点 0—5' では誘導的であり他は純抵抗または容量的であつて, 状態点 9, 8, 3—1 では明らかに容量的である. 詳細については後に考察する. なお周波数によつても一定の傾向で変化することは第 4 図に見られる通りである.

6. 陰極降下部のインピーダンス

陰極降下部のインピーダンスは陰極点を有する酸化物陰極とその近くにあつて絶縁された集電極との間の測定値から推定される。勿論集電極に充分電流を通じてそのインピーダンスを低下せしめる必要があるために厳密な結果とはいふ難いが、前節の結果を用いて集電極インピーダンスを取り去つた値から推定したところ、測定電圧が小さい間は 18 kc まで純抵抗であり、その値はほぼ直流抵抗値に等しい。

IV. 考 察

1. 陽極降下部のインピーダンスとその影響

$V_{13} = 0$  のとき即ち第5図の状態点0においては両陽極の機構は同様な状態にありそのインピーダンス特性も定性的にほぼ同一であつて定量的には電流に逆比例するインピーダンスを有するものと考えられる。

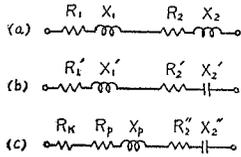


Fig. 7 equivalent circuits for each part of discharge tube.

例するインピーダンスを有するものと考えられる。例えば第4図の 100—52(0) 曲線は第7図 (a) の如き等価回路の合成インピーダンスの特性であるとするれば、 $R_2 = 2R_1$ ,  $X_2 = 2X_1$  であつて測定結果より  $R_1$ ,  $X_1$  は第4表の如く算出され、これは  $A_1$  陽極の放電々流 100 mA におけるインピーダンスであるとみられる。

Table 4 separation of column impedances and electrode fall impedances

f	$R + jX (\Omega)$							
	$R_1$	$X_1$	$R_2'$	$X_2'$	$R_2''$	$X_2''$	$R_p$	$X_p$
2.5	130	30	860	- 20	290	- 7	850	737
5.0	150	40	845	- 90	280	-30	—	—
10.0	160	55	740	-140	245	-45	870	50
18.0	180	65	635	-140	210	-45	850	6

また第4図の 138—55(4) 曲線は第7図 (b) の如き等価回路の合成インピーダンス特性と考えられ、 $R_1'$ ,  $X_1'$  は  $A_1$  の、 $R_2'$ ,  $X_2'$  は  $A_2$  の、それぞれ第5図の状態点3附近におけるインピーダンスである。 $R_1'$ ,  $X_1'$  は定性的には  $R_1$ ,  $X_1$  とほぼ同様であろうが定量的には知ることができない。しかしその絶対値は  $R_1$ ,  $X_1$  に比し充分小なることは状態点3附近の  $A_1$  曲線の形から推定される。いまこれを  $R_2'$ ,  $X_2'$  に比して無視しようとして第4図の測定から得られる  $R_2'$ ,  $X_2'$  を第4表に記入した。この仮定が許されなければ  $R_2'$  は表の値より幾分小さく、 $X_2'$  の絶対値は大きい値をとるであろうが重大な誤差は生じないと思われる。しからば  $R_2'$ ,  $X_2'$  は

$A_2$  陽極降下部の電流 55 mA, 状態点 3 におけるインピーダンスとなり,  $X_2'$  は容量的である.

この値をもつて第 3 図の 168 mA 曲線を考察すれば, 測定値は第 7 図 (c) の如き等価回路の合成インピーダンスと考えられる. II. 6 から  $R_K$  は約  $60 \Omega$  とし,  $R_2'', X_2''$  はそれぞれ  $R_2', X_2'$  の約 3 分の 1 とすれば  $R_p, X_p$  は第 4 表の値をとる. この値を用いると放電電流 168 mA における陽光柱部インピーダンス特性は第 3 図の  $K-A$  間インピーダンス特性よりも幾分半円特性に近くなり, 重要なことには  $K-A$  間インピーダンスの容量性は凡て陽極降下部に帰せられることになる. 即ち陽極降下部のインピーダンスは第 5 図の状態点 3 の如き条件では可成り容量性となつて  $K-A$  間インピーダンスを見掛け上容量性ならしめる. またこの場合の陽極降下部インピーダンスの抵抗分は直流抵抗値の数倍になりうる. しかしながらこの補正を行つても  $R_p$  は依然として直流抵抗値約  $300 \Omega$  の 3 倍程度であつて, この原因は陰極降下部にも陽極降下部にも求められない.

以上述べた陽極降下部のインピーダンス特性は単純化された二極放電管のインピーダンスに関する Yeh & Chaffee の研究<sup>7)</sup>と対応する点があると思われるが, 著者の場合は連続した放電路の一部としての陽極降下部を取扱うものであるために完全な理論を立てることには困難が残されている. 何れにせよ陽極降下部インピーダンスの誘導性については Yeh 等の研究によつてその大綱が察せられるが, 著者の場合の容量性は陽極前面における顕著な電離作用が発生する以前の陽極機構において認められるものであつて, 空間電荷鞘の存在によつて説明せらるべきものであろう.

## 2. 陽光柱インピーダンスについて

第 4 表に一例を示したように電極部特に陽極部インピーダンスを考慮にとることによつて, 少くとも著者の実験例については陽光柱インピーダンスが容量分を有しないことが確められ, 緒言にのべておいた第一の問題点は解決された. しかし 10 kc 以上で陽光柱インピーダンスが純抵抗となつた場合の交流抵抗値に関する第二の問題点は電極部インピーダンスの影響としては解決されない. 即ち陽光柱自体の問題である. このことは渡辺, 八田両氏<sup>8)</sup>によつて紹介された Granovsky の論文<sup>3)</sup>においても考慮されていないようである.

この問題を解決するためには直流抵抗値よりも大きな交流抵抗値を生ずる機構をとり入れなければならない. 著者はこのために電子易動度を検討する必要があると考える. 元来陽光柱インピーダンスの誘導性に与えられている物理的意味は電界による電子密度の変化のおくれであつて電子易動度は一定と見なしており, ために直流抵抗値が基本的な意味を有するのである. しかし電子易動度が電界及び気

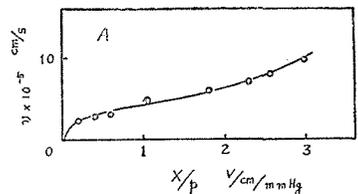


Fig. 8 field dependence of electron mobility

圧によつて変化する事実は古くから認められており、第8図はアルゴン中における  $X/p$  対電子流速  $v$  の実測曲線<sup>9)</sup>である。電子密度  $N$  が与えられれば  $v \cdot N = j$  となつて  $v$  は電流密度  $j$  を与え、 $p$  一定であれば  $X/p-v$  曲線はそのまま  $V-I$  曲線となりその傾斜は交流抵抗を示すものと考えることができよう。これを実際のアルゴン中放電の陽光柱に適用することには多少の問題はあろうが、 $X/p$  のある範囲においては直流抵抗値の数倍の交流抵抗値が予想される。

けい光放電灯の如き混合気体中放電では事情が複雑で、上のような考えを定量的に適用することは困難であるが、陽光柱の交流抵抗値に関する問題点解決の方法を示すべきものとして電子易動度に関する著者の考えをのべた。

### 3. 陽極構造と陽極機構との関係、及び陽極脈動の原因について

第5図に示したような陽極降下部の電流—電圧特性が測定された結果、二三の重要な知見が得られる。即ち与えられた放電々流においていかなる陽極降下値をとるかは、気体の種類、圧力等の諸条件が一定ならば陽極構造、主として有効表面積によつて自律的に決定されるものであつて、その動作状態点が第5図の曲線のどの位置にあるかは陽極脈動の発生及び  $K-A$  間インピーダンスに重大な影響を与える。

著者はさきに陽極脈動発生の原因について簡単な試論を發表<sup>6)</sup>したが、その際に論じた安定限界は本研究の結果充分な安全側にあり、実際はその数十%多い電流においても安定でありうることが明らかになつた。この拡張された安定域は同一放電管においても再現が困難であろうことは第5図の曲線の形から推測されるところであつて、脈動の研究において遭遇する発生条件のばらつきもこのような事実から説明することができる。

## V. 結 言

1. 陽光柱の理論からは説明困難な第一の問題点、即ち直流点灯時におけるけい光放電灯の陰極—陽極間インピーダンスが低周波においても容量性となる実験事実は、陽極降下部のインピーダンスを分離測定することによつて陽光柱自体の特性でないことが明らかにされた。

2. 第二の問題点、即ち周波数を高めて純抵抗となつたときの値は従来の陽光柱理論からは直流抵抗値と一致すべきにも拘らずその3倍程度にも達する実験事実は、陽極降下部及び陰極降下部のインピーダンスによつては説明されず、陽光柱の動特性理論が修正せらるべきことが定量的に示され、解決の方向として  $X/p$  による電子易動度の変化を考慮すべきことが提案された。

3. 陽極降下部の電流—電圧特性が測定され、陽極構造おもにその有効表面積によつて動作点が異なることがインピーダンス測定の結果から明らかにされた。このことはまた陽極脈動の発生原因をも明確にした。

4. 陽極脈動の発生しない放電々流の安定限界が定量的に考察され、安定限界自体の不安定性

についての説明が与えられた。

## 謝 辞

本研究に当り、浅見、松本両教授からは貴重な資料と多大の御援助を与えられた。また片山教授には懇切な御指導を賜り、河合、音川両君は実験その他に協力された。さらに東北大八田助教授からは有益な御助言をうけた。ここに厚く感謝の意を表する次第である。

## 文 献

- 1) 額田: 格子消弧サイクロン, p. 66.
- 2) 八田: 電気工学論文集, 4, 46 (1952).
- 3) Granovsky: J. Phys., (U.S.S.R.), 3, 195 (1940).
- 4) 浅見・松本: 北大応電研彙報, 4, 191 (1952).
- 5) B.T. Barnes: Phys. Rev., 86, 351 (1952).
- 6) 三浦: 照明学会誌, 38, 395 (1954).
- 7) Yeh & Chaffee: J. A. Phys., 21, 981 (1950).
- 8) 渡辺・八田: 電気学会東北支部連大 (1949).
- 9) Loeb: Fundamental Processes of Electrical Discharge in Gases, p. 197.